Digitized by www.freeservicemanuals.info
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

2e JAARGANG NUMMER 7 JULI 1937

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

# NIET-LINEAIRE VERVORMING VAN MAGNETISCHE OORSPRONG

door J. W. L. KÖHLER.

**Samenvatting.** Beschreven wordt, wat vervorming is en welke onderdeelen van een versterker vervorming kunnen veroorzaken. De vervorming door spoelen met ijzerkern wordt uitvoerig besproken en aan de hand van de resultaten daarvan wordt de vervorming door transformatoren in versterkers behandeld.

## Inleiding

Reeds verscheidene malen zijn in dit tijdschrift versterkers ter sprake gekomen. Wij willen in dit artikel op enkele eigenschappen van versterkers nader ingaan.

Een versterker dient in het algemeen om een electrische wisselspanning te versterken. Ideaal zou een versterker zijn, wanneer elk signaal zonder vervorming versterkt zou worden. Dit willen wij nader preciseeren. Het signaal zij een bepaalde functie van de tijd, dus $V_1(t)$. De versterkte spanning is dan in het algemeen een andere functie, $V_2(t)$. De versterking is in ieder geval vervormingsvrij, als

$$V_2(t) = c\ V_1(t)$$

geldt voor alle waarden van $t$ en voor een willekeurige vorm van $V$. Dit beteekent, dat altijd de verhouding van uitgaande spanning tot inkomende spanning constant is. De afwijkingen van het ideale gedrag kunnen wij het eenvoudigste onderzoeken, als wij aannemen, dat het signaal een zuiver sinusvormige wisselspanning is.

De versterker kan nu de volgende fouten bezitten. Het is mogelijk, dat:

a) de versterkingsgraad afhankelijk van de frequentie is;
b) in de versterker phasedraaiingen optreden, zoodat uitgaand en inkomend signaal niet dezelfde phase hebben;
c) de versterkingsgraad afhangt van de grootte van het signaal, dus het verband tusschen de inkomende en uitgaande spanning niet lineair is; dit heet niet-lineaire vervorming.

Ad a) Deze vervorming is in principe altijd aanwezig, als men een voldoende groot frequentiegebied beschouwt. Zij kan echter steeds klein gehouden worden voor het frequentiegebied, dat men in de practijk versterken wil.

Ad b) Phasedraaiing is bij versterkers voor lage frequenties niet belangrijk, omdat het oor phaseverschuiving niet kan onderscheiden. Voor televisieversterkers en het hoogfrequentgedeelte van radiotoestellen is zij wel van belang.

Ad c) Niet-lineaire vervorming, welke meestal kortweg vervorming of distorsie genoemd wordt, treedt altijd op, omdat in versterkers steeds versterkerlampen en transformatoren, in het algemeen niet-lineaire elementen, voorkomen. In dit artikel zal speciaal deze vervorming behandeld worden.

## Algemeene beschouwing over vervorming

In welk opzicht is vervorming voor de kwaliteit van de weergave hinderlijk? Beschouw daartoe het verband tusschen uitgaande en inkomende spanning. Dit verband zij

$$V_2 = f\,(V_1).$$

Indien nu $V_1 = V_0 \sin \omega t$ is, dan wordt

$$V_2 = f\,(V_0 \sin \omega t).$$

$V_2$ is dus nog wel periodiek, maar in het algemeen niet meer sinusvormig. Echter bestaat $V_2$ wel uit een som van sinus- en cosinusfuncties. Om dit te verduidelijken herinneren wij aan het theorema van Fourier. Dit leert dat een periodieke functie geschreven kan worden als een som van sinus- en cosinusfuncties. Dus als $V_2$ gegeven is als functie van de tijd, dan geldt:

$$V_2(t) = b_0/2 + \sum_1^{\infty} (a_n \sin n\omega t + b_n \cos n\omega t) \quad \cdot \quad (1)$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized by www.freeservicemanuals.info
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



Hierin zijn $a_n$ en $b_n$ coëfficienten, die volgen uit de vergelijkingen:

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{+\pi} V_2(t)\ \sin\ n\omega t\ \mathrm{d}\ \omega t,$$

$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{+\pi} V_2(t)\ \cos\ n\omega t\ \mathrm{d}\ \omega t.$$

De uitgaande spanning bestaat dus uit de grondfrequentie en harmonische boventonen. Niet-lineaire vervorming beteekent derhalve het ontstaan van nieuwe frequenties, die niet voorkomen in het inkomende signaal. Het volgende voorbeeld licht dit nader toe. Stel:

$$V_2 = AV_1 + BV_1^2 + CV_1^3.$$

Dan is als $V_1 = V_0 \cos \omega t$:

$$V_2 = AV_0 \cos \omega t + BV_0^2 \cos^2 \omega t + CV_0^3 \cos^3 \omega t,$$

$$V_2 = {}^1/_2\ BV_0^2 + (AV_0 + {}^3/_4\ CV_0^3) \cos \omega t + + {}^1/_2\ BV_0^2 \cos 2\,\omega t + {}^1/_4\ CV_0^3 \cos 3\,\omega t.$$

Het is vaak niet mogelijk het verband tusschen $V_2$ en $V_1$ in eenvoudige mathematische vorm te brengen. Wij kunnen echter meestal aan de vorm van de kromme $V_2(t)$ zien, welke boventonen zullen optreden (zie *fig. 1*). Wij herinneren daartoe aan de volgende regels:

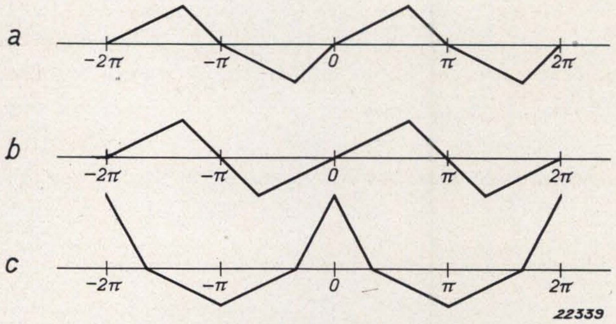


Fig. 1. *a*) Symmetrische functie, *b*) oneven functie, *c*) even functie.

*a*) Een symmetrische functie $(f(t) = -f(t+\pi))$ bestaat uit de grondgolf en oneven boventonen.
*b*) Een oneven functie $(f(t) = -f(-t))$ bestaat louter uit sinusfuncties.
*c*) Een even functie $(f(t) = f(-t))$ bestaat louter uit cosinusfuncties.

Speciaal de eerste regel is van groot nut in de versterkertechniek om de vervorming zoo gering mogelijk te maken. Wij willen dit nader toelichten.

Daartoe beschouwen wij eerst een enkelvoudige versterkerlamp, en daarvan speciaal het verband tusschen de anodestroom en de roosterspanning (*fig. 2*). De anodestroom veroorzaakt op de uitwendige weerstand een spanning $V_2$ welke evenredig met de anodestroom is. Neem als werkpunt het punt *O*. In de figuur zien wij, hoe de anodestroom en dus de spanning op de weerstand van de tijd afhangt, als de roosterspanning sinusvormig met de tijd

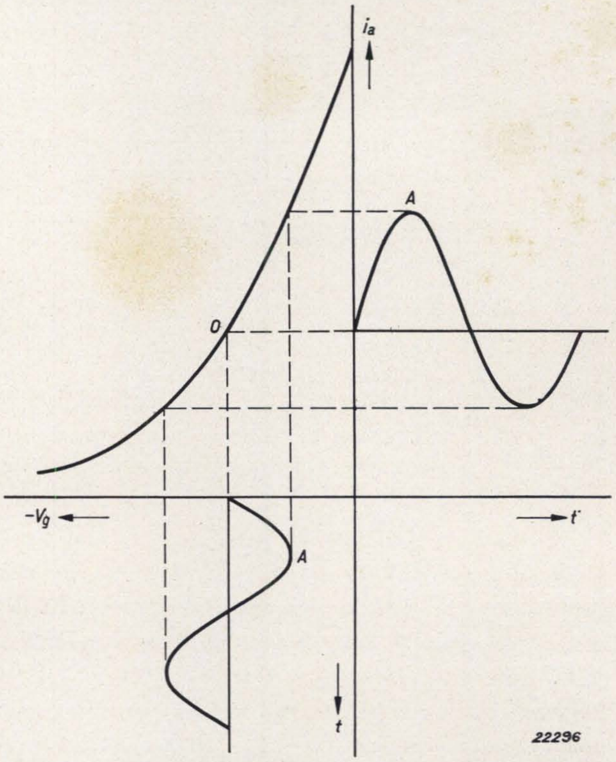


Fig. 2. Anodestroomkarakteristiek van een versterkerlamp. In de linkerbovenhoek is de anodestroom-roosterspanning-karakteristiek geteekend. *O* is het werkpunt. De linkeronderhoek stelt het sinusvormig veranderen van de roosterspanning voor. De rechterbovenhoek geeft het verloop van de anodestroom als functie van de tijd.

varieert. Het is duidelijk, dat de figuur niet symmetrisch is: de kromming van de karakteristiek is bij kleine anodestroom veel grooter dan bij groote anodestroom. Als wij het nulpunt van de tijd bij *A* leggen, zien wij, dat de anodestroom een even functie van de tijd is, zoodat de ontwikkeling louter uit cosinusfuncties bestaat.

Nu nemen wij twee lampen, die wij zoo schakelen, dat, als bij de ééne lamp de anodestroom maximum is, deze bij de andere minimum is. Dit is de zg. balansschakeling (zie *fig. 3*). Wij moeten nu de karakteristiek teekenen voor beide lampen samen. Dit willen wij niet in bijzonderheden uitvoeren, maar alleen constateeren, dat het mechanisme door het tegen elkaar in schakelen van de lampen symmetrisch geworden is. Hierdoor zijn dus alle even boventonen verdwenen of anders gezegd: de even harmonischen, die in elk der twee lampen ontstaan, zijn in tegenphase, waardoor ze elkaar compenseeren. Daar bij trioden de tweede harmonische in een groot gebied overweegt boven de andere harmonischen, wordt door deze schakeling de vervorming belangrijk verminderd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



Indien de inkomende spanning niet sinusvormig is, worden de beschouwingen ingewikkelder. Het signaal moet dan opgevat worden als een som van

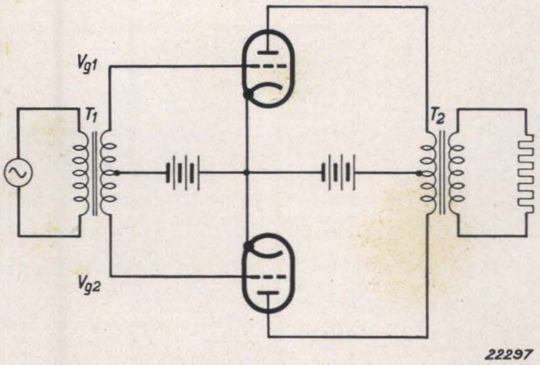


Fig. 3. Balansschakeling. De transformator $T_1$ is zoodanig gewikkeld, dat als $V_{g1}$ maximum is, $V_{g2}$ minimum is. Daardoor zijn de anodestroomen van de beide lampen in tegenphase. De anodestroomen worden in de transformator $T_2$ op zoodanige wijze vereenigd, dat ze de werking van elkaar versterken.

sinustrillingen (F o u r i e r ontwikkeling) met verschillende frequentie en amplitude en de versterker moet deze som in zijn geheel versterken. Er ontstaan nieuwe frequenties, doch nu niet alleen harmonische boventonen van de grondgolven, maar ook combinatietonen, dwz. trillingen met de frequentie $m\omega_1 + n\omega_2$, als $\omega_1$ en $\omega_2$ twee inkomende frequenties zijn en $m$ en $n$ twee geheele getallen. Speciaal deze combinatietonen maken de kwaliteit van de weergave slecht. Alleen in eenvoudige gevallen is het mogelijk de sterkte van deze combinatietonen te berekenen. Een groote moeilijkheid is, dat bijv. in het geval van twee frequenties de vervorming voor de beide frequenties dikwijls niet dezelfde is. In dit artikel laten wij dit probleem echter rusten.

## Magnetischc distorsie

Wij willen nu meer uitvoerig spreken over de distorsie, welke veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van transformatoren en smoorspoelen, die ijzerkernen bevatten. Hierbij zullen we voornamelijk de smoorspoel bespreken, omdat transformator en smoorspoel zich ten opzichte van dit vraagstuk analoog gedragen.

Om de gedachten te bepalen behandelen we de vervorming van een uitgangstransformator. Voor de eenvoud nemen wij aan, dat de belasting van de versterker gevormd wordt door een weerstand, en niet door een luidspreker, zooals meestal het geval is (zie *fig. 4a*). Voor deze eindtrap willen wij eerst een vervangingsschema opstellen. De versterkerlamp kunnen wij voorstellen door een generator met de inwendige weerstand van de lamp in serie (*fig. 4b*). Daar wij alleen lage frequenties beschouwen (de reden hiervan zal worden behandeld), kunnen wij bij de transformator afzien van de

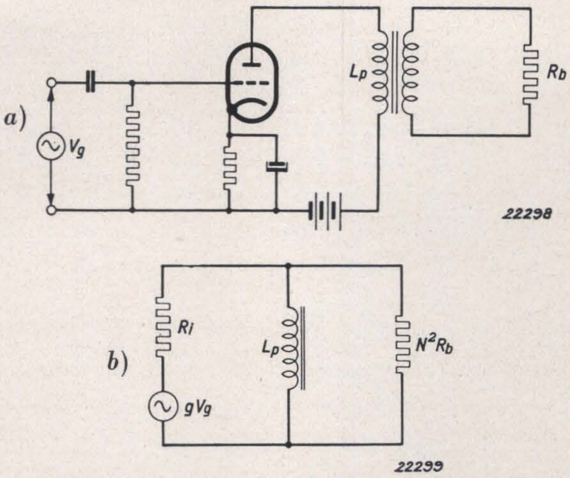


Fig. 4. *a*) Schema van een eindtrap. *b*) Vervangingsschema. De versterkerlamp is vervangen door de inwendige weerstand $R_i$ in serie met de generator $gV_g$ ($g$ = versterkingsfactor van de lamp). De transformator met de belastingsweerstand is vervangen door de primaire zelfinductie $L_p$ met $N^2$ maal de belastingsweerstand $R_b$ eraan parallel.

spreiding en de capaciteit. Het vervangingsschema van de transformator bestaat dan uit de primaire zelfinductie, belast met $N^2$ maal de belastingsweerstand ($N$ = transformatieverhouding); zie fig. 4b. Voor ons doel is dit schema nog betrekkelijk moeilijk te overzien. Daarom behandelen wij eerst eenvoudiger gevallen.

## Vervorming door onbelaste spoelen

Door de spoel sturen wij onvervormde stroom; dit kunnen wij bereiken door in serie met de spoel een weerstand op te nemen, die zeer groot is ten opzichte van de impedantie van de spoel (zie *fig. 5*). In de spoel wordt nu een EMK opgewekt

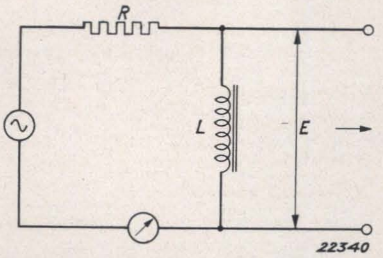


Fig. 5. Meting van de vervorming door een onbelaste spoel $L$. De stroom door de spoel wordt onvervormd gemaakt door de weerstand $R$ ($R \gg \omega L$). De vervormingsmeter vormt geen belasting van de spoel, omdat de ingangsweerstand groot is t.o.v. $\omega L$ (1 megohm).

en wij vragen, hoe de spanning op de spoel eruit ziet, als de spoel een ijzerkern bezit. Daartoe brengen wij de volgende formules in herinnering:

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info



$$H = \frac{0{,}4\ \pi\ n\ i}{l}\ \text{oersted en} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (2)$$

$$V = n\ O\ \frac{dB}{dt}\ 10^{-8}\ \text{volt}, \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (3)$$

waarin: $H$ de magnetische veldsterkte,
$B$ de magnetische inductie,
$V$ de spanning op de spoel,
$i$ de stroom door de spoel,
$n$ het totale aantal windingen,
$l$ de lengte van de krachtlijnen en
$O$ het oppervlak van de doorsnede voorstelt.

Wij hebben dus reeds een betrekking tusschen de spanning $V$ en de inductie $B$ en tusschen de stroom $i$ en de magnetische veldsterkte $H$. Om een verband tusschen $V$ en $i$ te vinden ontbreekt dus nog het verband tusschen $B$ en $H$, en hiervoor moeten wij meer weten over de magnetische eigenschappen van het ijzer van de kern.

Hierover is reeds één en ander verschenen in dit tijdschrift [1]). Wij weten, dat het verband tusschen $B$ en $H$:

1) niet lineair is,
2) hysteresiskarakter bezit, dwz. dat in het $B$-$H$-vlak een gesloten kromme beschreven wordt, als $H$ een kringloop beschrijft (zie *fig. 6*).

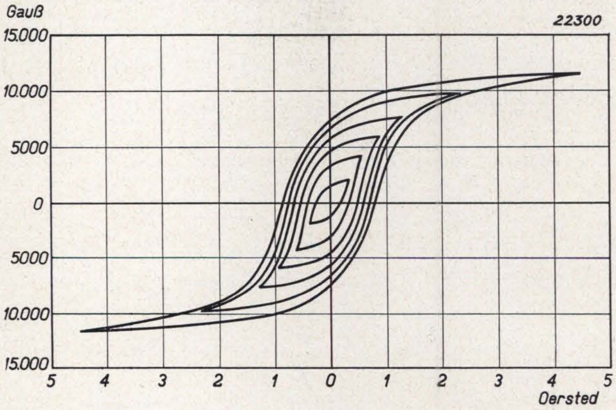


Fig. 6. Voorbeeld van hysteresislussen. De verschillende lussen hebben betrekking op verschillende waarden van $B_{max}$.

De lus bestaat uit twee takken, een stijgende (onderste) en een dalende (bovenste tak); als $H$ toeneemt wordt de stijgende, als $H$ afneemt de dalende tak doorloopen. De vorm van de hysteresislus is afhankelijk van de variatie in de inductie; bij zeer groote amplitude treedt verzadiging op.

Het is tot nu toe niet mogelijk gebleken om de hysteresislus voor alle amplituden in mathematische vorm te schrijven. Alleen bij lage inductie is de vorm van de lus betrekkelijk eenvoudig, en daartoe willen wij ons voorloopig beperken. Het feit, dat lussen beschreven worden, beteekent, dat energieverlies in de kern optreedt, het zg. hysteresisverlies. Het oppervlak van de lus is een maat voor dit verlies. De vorm van de lus bepaalt de vervorming; was de lus een ellips, dan zou er in het geheel geen vervorming zijn, doch alleen een phaseverschuiving tusschen $B$ en $H$ bestaan. De lussen hebben echter spitse punten, zoodat wel vervorming optreedt. Wij willen nu [2]) een bepaald verband tusschen $B$ en $H$ aannemen, waardoor wij zoowel het hysteresisverlies als de vervorming kunnen berekenen. Het blijkt nl., dat bij vele materialen de beide takken van de lus voorgesteld kunnen worden door een kwadratische uitdrukking in de magnetische veldsterkte; dwz., dat, als wij de oorsprong in het beginpunt van de lus leggen (zie *fig. 7*), de tak voorgesteld kan worden door:

$$b = \mu_0\, h + \nu\, h^2\ , \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (4)$$

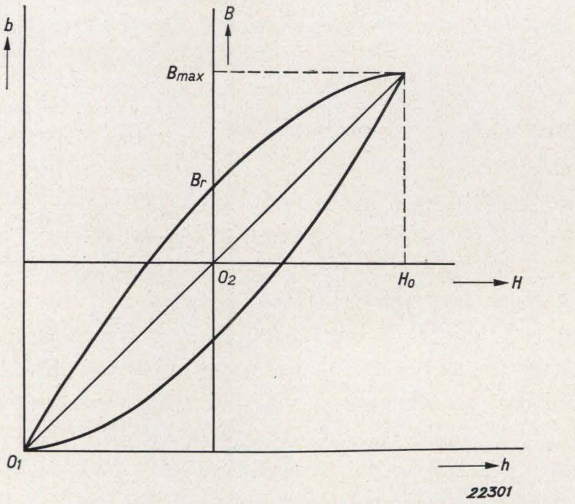


Fig. 7. Hysteresislus bij kleine amplitude. Het assenkruis $bO_1h$ heeft de oorsprong in een omkeerpunt van de lus; het kruis $BO_2H$ heeft de oorsprong in het midden van de lus.

waarin $\mu_0$ en $\nu$ materiaalconstanten zijn ($\mu_0$ is de bekende beginpermeabiliteit). Deze „wet van R a y l e i g h" geldt in een groot gebied om het punt $B = H = 0$, wáár het beginpunt van de lus ook ligt. Wij kunnen nu onmiddellijk een uitdrukking afleiden voor de geheele hysteresislus, als wij de oorsprong in het midden van de lus leggen:

$$B = (\mu_0 + 2\ \nu\ H_0)\ H \pm \nu\ (H_0^2 - H^2), \quad \cdot \quad (5)$$

waarin $H_0 = H_{max}$, en het plusteeken geldt voor de bovenste (dalende) tak. Uit deze formule volgen uitdrukkingen voor de permeabiliteit en de remanentie:

[1]) Uitvoerig artikel: J. L. Snoek, Philips techn. T. 2, 77, 1937.

[2]) Wij volgen hier de beschouwingen van H. J o r d a n, E.N.T. 1, 7, 1924.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



$$\mu = \frac{B}{H_0} = \mu_0 + 2\,\nu\,H_0 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (6)$$

$$B_r = B_{(H=0)} = \nu\,H_0^2 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (7)$$

Nu wij in formule (5) het gezochte verband tusschen $B$ en $H$ hebben gevonden, kunnen wij met behulp van (2) en (3) berekenen, hoe de spanning op de spoel zal zijn, wanneer er een onvervormde stroom $i = i_0 \cos \omega t$ doorheen loopt. De magnetische veldsterkte is volgens (2) evenredig met $i$,

dus: $H = H_0 \cos \omega t$.

Hieruit volgt:

$$B = (\mu_0 + 2\,\nu H_0)\,H_0 \cos \omega t \pm \nu\,H_0^2 \sin^2 \omega t, \quad \cdot \quad (8)$$

waarin het $+$ teeken geldt voor $0 < \omega t < \pi$
en het $-$ teeken voor $\pi < \omega t < 2\pi$.

Met behulp van de Fourieranalyse maken wij hiervan een som van sinus- en cosinusfuncties.

$$B = (\mu_0 + 2\,\nu\,H_0)\,H_0 \cos \omega t + \frac{8}{3\pi}\,\nu\,H_0^2 \sin \omega t -$$

$$-\frac{8}{\pi}\,\nu\,H_0^2 \left\{ \frac{\sin 3\omega t}{1 \cdot 3 \cdot 5} + \frac{\sin 5\omega t}{3 \cdot 5 \cdot 7} + \frac{\sin 7\omega t}{5 \cdot 7 \cdot 9} + \ldots \right\} \cdot \quad (9)$$

Wij zien, dat in de inductie alleen oneven harmonischen voorkomen; dit moesten wij verwachten, omdat wij met een symmetrisch proces te maken hebben, waardoor de even harmonischen verdwijnen. Formule (3) levert nu de spanning op de spoel:

$$\frac{V}{\omega\,n\,O\,10^{-8}} =$$

$$= -(\mu_o + 2\,\nu\,H_0)\,H_0 \sin \omega t + \frac{8}{3\pi}\,\nu\,H_0^2 \cos \omega t -$$

$$-\frac{8}{\pi}\,\nu\,H_0^2 \left\{ \frac{\cos 3\omega t}{1 \cdot 5} + \frac{\cos 5\omega t}{3 \cdot 7} + \frac{\cos 7\omega t}{5 \cdot 9} + \ldots \right\} (10)$$

Om de spanning $V$ in de stroom $i_0$ uit te drukken, moeten wij in (10) nog zetten:

$$H_0 = \frac{0{,}4\,\pi\,n\,i_0}{l}.$$

De spanning bestaat dan uit:

1) Een component, waarvan de phase 90° verschilt met de stroom.
2) Een component in phase met de stroom.
3) Boventonen.

Ad 1) Omdat $V = L\,\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$, waarin $L$ de zelfinductie beteekent, kunnen we hieruit $L$ berekenen:

$$L = a\,(\mu_0 + 2\,\nu\,H_0), \qquad a = \frac{4\,\pi\,n^2\,O}{l}\,10^{-9} \cdot (11)$$

Indien de spoel geen ijzerkern bezit en geen weerstand heeft, treedt alleen deze component op.

Ad 2) Daar deze component in phase met de stroom is, heeft er energieverlies in de spoel plaats; dit is het hysteresisverlies en we brengen dit tot uitdrukking door te zeggen, dat de spoel een verliesweerstand $R_h$ bezit. Hiervoor vinden wij

$$R_h = a\,\frac{16}{3}\,f\,\nu\,H_0 = \beta\,\frac{16}{3}\,f\,\nu\,i_0\,, \cdot \cdot \quad (12)$$

$$\text{waarbij } \beta = \frac{1{,}6\,\pi^2\,n^3\,O}{l^2}\,10^{-9} \text{ en } f = \frac{\omega}{2\pi}\,.$$

Ad 3) Dit is de gevraagde vervorming. Voor de amplitude van de derde, vijfde en zevende harmonische kunnen wij schrijven:

$$V_3 = \beta\,\frac{16}{5}\,f\,\nu\,i_0^2\,;\quad V_5 = \beta\,\frac{16}{21}\,f\,\nu\,i_0^2\,;$$

$$V_7 = \beta\,\frac{16}{45}\,f\,\nu\,i_0^2 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (13)$$

Wij zien, dat de amplitude van alle harmonischen toeneemt met het kwadraat van de stroom. Wij kunnen nog de vervormingsspanning vergelijken met de spanning van de grondgolf. Als $\nu\,H_0 \ll \mu_0$ vinden wij:

$$\frac{V_3}{V_1} = \frac{0{,}2\,n}{l}\,\frac{16}{5}\,\frac{\nu}{\mu_0}\,i_0 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (13a)$$

De procentueele vervorming is dus onafhankelijk van de frequentie (immers bij alle frequenties wordt dezelfde lus doorloopen) en evenredig met de stroom door de spoel. Uit formule (10) zien wij, dat wij voor de verhouding van de verschillende harmonischen kunnen schrijven:

$$V_3 : V_5 : V_7 = 1/5 : 1/21 : 1/45 \quad \cdot \quad (13b)$$

Als voorbeeld geven wij in *fig. 8* het resultaat van een vervormingsmeting aan een spoel met nikkelijzer-

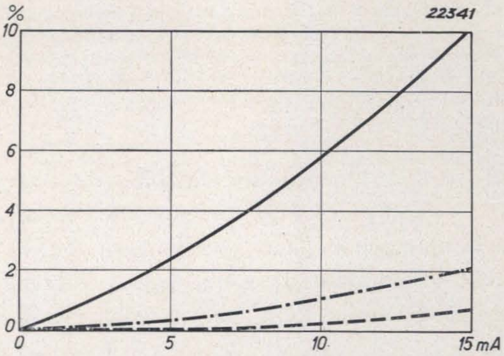


Fig. 8. Vervorming door een onbelaste spoel met nikkelijzerkern. ——— derde harmonische; —·—· vijfde harmonische en — — — — zevende harmonische.

blik. De formules geven wel het algemeen verloop goed weer, maar er komen systematische afwijkingen voor: De vervorming is niet volkomen evenredig met de stroom en de verhouding van de verschillende harmonischen is niet geheel goed; de hooge

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



harmonischen zijn niet zoo groot als de berekening leert.

Door (12) en (13) te combineeren vinden wij nog een betrekking tusschen de hysteresisweerstand en de vervorming:

$$\frac{V_3/i_0^2}{R_h/i_0} = 0{,}6 \quad \cdots\cdots \quad (14)$$

Hieruit kan de vervorming van een spoel berekend worden, als de verliesweerstand bekend is. Ook formule (14) is bij deze spoel niet goed vervuld; de verhouding is niet constant en te klein; dus ook hier een te kleine vervorming. Anderzijds kunnen wij uit deze experimenten besluiten, dat de theorie in ruwe trekken de vervorming bij lage inductie behoorlijk weergeeft.

**Vervorming door belaste spoelen**

In de vorige paragraaf hebben wij de vervorming door onbelaste spoelen behandeld, dwz. door spoelen, welke niet door een andere impedantie overbrugd zijn. Wij willen nu nagaan, wat er gebeurt, indien dit wel het geval is. Daarbij nemen wij aan, dat het aggregaat van spoel en impedantie nog steeds met onvervormde stroom gevoed wordt, en wel met zoo groote amplitude, dat de stroom door de spoel dezelfde is, als wanneer de impedantie niet aanwezig is (zie *fig. 9*). Omdat de spoel nu

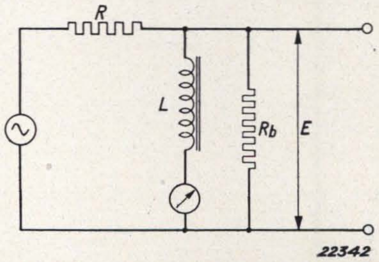


Fig. 9. Meting van de vervorming voor een belaste spoel. Een stroommeter staat in serie met de spoel, om de metingen bij dezelfde waarde van de grondgolf te kunnen uitvoeren als in fig. 4. Bij groote vervorming moet dit een selectieve meter zijn, die alleen de stroom met de frequentie van de grondgolf aanwijst.

overbrugd is, zal er in het circuit, dat door de spoel en de uitwendige impedantie gevormd wordt, een vervormingsstroom gaan rondloopen, welke veroorzaakt wordt door de EMK van de vervorming in de spoel. Omdat deze stroom gaat rondloopen, zal de spanning van de vervorming op de spoel dalen; het quotiënt van deze spanningsdaling en de vervormingsstroom kunnen wij opvatten als een inwendige impedantie voor de derde harmonische. Deze inwendige impedantie willen wij nader beschouwen. Men zou op het eerste gezicht geneigd zijn voor deze impedantie dezelfde uitdrukking te nemen, als de spoel heeft voor de grondgolf. Hiermee moeten wij echter voorzichtig zijn, omdat de spoel, die niet alleen door de vervormingsstroom, maar ook door de grondgolf wordt doorstroomd, geen lineaire impedantie is. Omdat de spoel geen lineaire impedantie is, mogen deze beide stroomen niet zonder meer gesuperponeerd worden. Wij willen hier de berekening niet uitvoeren, maar alleen het resultaat aangeven.

De impedantie voor de grondgolf ($i_1$) is:

$$Z\,(i_1) = R_h(i_1) + j\omega L(i_1) \quad \cdot\cdot\cdot \quad (15)$$

Hierin zijn $R_h$ en $L$ functies van $i_1$, en is $R_h$ bovendien evenredig met de frequentie.
Voor de inwendige impedantie voor de derde harmonische vinden wij:

$$Z\,(i_3) = 26/35\; R_h\,(i_1) + j \cdot 3\,\omega\, L\,(i_1) \quad \cdot \quad (16)$$

Wij willen er op wijzen, dat in deze uitdrukking voor $R_h$ en $L$ de waarden staan, die behooren bij de amplitude van de grondgolf. Zoolang de inductie in het ijzer klein is, zal ook $R_h$ klein zijn ($R_h$ is evenredig met de stroom), zoodat wij in (16) meestal wel alleen met de zelfinductie mogen rekenen. Ditzelfde geldt ook voor de nog hoogere harmonischen. Wij kunnen dus nu berekenen, hoe groot de vervormingsstroom is, welke in het circuit gaat loopen, en dus ook de spanning, die op de uitwendige impedantie (en op de spoel) ontstaat. Ter vereenvoudiging nemen wij aan, dat de uitwendige impedantie een weerstand is. De vervorming wordt, zooals wij zagen, kleiner, als de spoel met die weerstand belast wordt. Daar de inwendige impedantie toeneemt met toenemende orde van de harmonische, zullen de hooge harmonischen sterker dalen dan de lage. Wanneer wij bijv. de uitwendige weerstand gelijk maken aan $\omega L$ voor de grondgolf, dan dalen de 3e, 5e, 7e en 9e harmonische tot op $\frac{1}{\sqrt{10}}$, $\frac{1}{\sqrt{26}}$, $\frac{1}{\sqrt{50}}$ en $\frac{1}{\sqrt{82}}$ van hun oorspronkelijke waarde. Formule (16) blijkt in de practijk zeer goed te voldoen. Hoewel zij is afgeleid voor het gebied van de zeer kleine inducties (formule van Rayleigh), blijkt zij ook het gedrag bij grootere inducties zeer goed te beschrijven.

Het is echter in bepaalde gevallen ook mogelijk, dat de vervorming stijgt als de spoel door een impedantie overbrugd wordt. Om dit te demonstreeren nemen wij als belasting een condensator met een zoodanige capaciteit, dat deze bij de frequentie van één der harmonischen in resonantie is met $L$. Het circuit vormt dan een serieresonantie voor deze harmonische en de stroom, die gaat loopen, wordt alleen begrensd door de weerstand van de kring, dus door de hysteresisweerstand. Deze stroom is dus zeer groot en daardoor zal op de condensator ook een groote spanning van de harmonische ontstaan.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info



**Spoelen met wervelstroomen**

Wij hebben er bij onze beschouwingen in het geheel geen rekening mee gehouden, dat in een spoel met ijzerkern in vele gevallen wervelstroomverliezen optreden. Om te onderzoeken in hoeverre dit verandering brengt in onze resultaten, beschouwen wij nogmaals het vervangingsschema van de spoel.

Wij nemen aan, dat de frequentie zoo laag is, dat nog geen merkbare verdringing van krachtlijnen tengevolge van de wervelstroomen plaats vindt, zoodat de inductie homogeen over de doorsnede van het ijzer verdeeld is. De wervelstroomen komen tot uiting in een wervelstroomverliesweerstand in het vervangingsschema. Wij kunnen ons afvragen, of wij deze weerstand in serie met of parallel aan de spoel moeten teekenen. Een beschouwing over het ontstaan van de wervelstroomen moet dit leeren; immers proefondervindelijk kunnen wij dit niet uitmaken, omdat beide schema's altijd op elkaar omgerekend kunnen worden. Wij gaan de eigenschappen van beide schema's na (zie *fig. 10*).

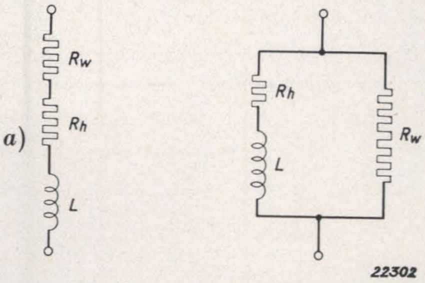


Fig. 10. *a*) Schema van een spoel met de wervelstroomweerstand in serie. $L$ = de zelfinductie, $R_h$ = de hysteresisweerstand, $R_w$ = de wervelstroomweerstand. *b*) Zelfde schema, doch nu de wervelstroomweerstand parallel aan de spoel.

a) Wervelstroomweerstand in serie.

In dit schema komt niet tot uiting, dat de wervelstroomverliezen ontstaan door stroomkringen in het ijzer. Immers zulk een stroomkring veroorzaakt een magnetisch veld, dat tegengesteld gericht is aan het oorspronkelijke veld. Door de wervelstroomen wordt de magnetische kracht in de kern bij gegeven waarde van de stroom kleiner. Hiervan merken wij in het schema niets, want door de zelfinductie loopt nog steeds de oorspronkelijke stroom.

b) Wervelstroomweerstand parallel.

Nu wordt het beeld, dat wij ons over het ontstaan van de wervelstroomen gevormd hebben, uitstekend geillustreerd. De wervelstroomweerstand vormt een belasting van de spoel; indien uitwendig de stroom constant gehouden wordt, zal de stroom door de zelfinductie dalen. In dit schema onderscheiden de wervelstroomen zich in niets van een normale belasting. Dit schema is dus zeker te verkiezen boven het eerste. Een verder voordeel is nog, dat, terwijl de serieweerstand toeneemt met het kwadraat van de frequentie, de parallelweerstand bij kleine verliezen onafhankelijk van de frequentie is.

De invloed van de wervelstroomen op de vervorming is nu duidelijk. Evenals een uitwendige belastingsweerstand maken deze verliezen, dat de vervorming vermindert. Indien wij de vervorming meten bij een zoo hooge frequentie, dat de wervelstroomen invloed hebben (deze invloed neemt toe met de frequentie, omdat de parallelweerstand constant is), meten wij niet de EMK van de vervorming, ook als de spoel uitwendig niet belast is.

**Vervorming door transformatoren**

Na deze voorbereiding keeren wij terug tot de vervorming van een eindtrap. Om het voorgaande onmiddellijk te kunnen toepassen, willen wij nog een kleine verandering in het vervangingsschema (fig. 4b) aanbrengen. Daar hebben wij de lamp vervangen door een spanningsgenerator met spanning $g\,V_g$ met de inwendige weerstand in serie. Wij kunnen de lamp ook vervangen door een stroomgenerator met een stroomsterkte $SV_g$ ($S$ = steilheid van de lamp) met de inwendige weerstand van de lamp daaraan parallel (*fig. 11*). Het schema is nu

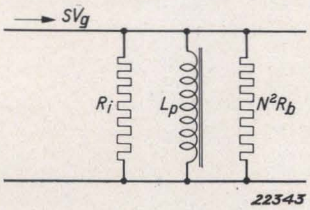


Fig. 11. Vervangingsschema van de eindtrap. De versterkerlamp is hier vervangen door een stroomgenerator $SV_g$ met $R_i$ parallel.

geheel gelijk aan fig. 9, als wij $R_i$ en $N^2R_b$ tot één weerstand vereenigd denken. Wij kunnen dus onmiddellijk onze resultaten op dit geval toepassen; de grootte van de vervorming wordt bepaald door de stroom door de transformator en de verhouding van de impedantie van de transformator voor de harmonischen tot de substitutieweerstand van $R_i$ en $R_b$. Wij zien nu ook, waarom er alleen bij lage frequenties kans op vervorming bestaat; bij hooge frequenties wordt de inwendige impedantie voor de vervorming al spoedig zoo groot, dat de vervorming geheel verdwijnt. Bovendien wordt bij toenemende frequentie de stroom door de spoel steeds kleiner.

Van een versterker eischen wij niet alleen, dat er geen vervorming optreedt, maar ook, dat bij een bepaalde lage frequentie de versterking niet meer dan met een bepaalde fractie is afgenomen. Ook hier is de verhouding van $\omega L$ tot $\dfrac{R_i R_b}{R_i + R_b}$ be-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info



palend (eenvoudigheidshalve is $N = 1$ genomen), wat wij als volgt in kunnen zien. De versterking van het schema van fig. 11 wordt gegeven door:

$$V_2/V_1 = \frac{g\ \omega L\ R_b}{\sqrt{R_i^2\ R_b^2 + \omega^2 L^2\ (R_i + R_b)^2}}, \quad (17)$$

$(V_2 = \text{spanning op } R_b)$,
$(V_1 = V_g)$.

De versterking bij hooge frequentie wordt dus:

$$V_2/V_1 = \frac{g\ R_b}{R_i + R_b} \quad . \ . \ . \ . \ . \ 18)$$

Noemen wij de verhouding van de versterking bij lage en bij hooge frequentie $p$:

$$\frac{V_2/V_1\ (\omega_1)}{V_2/V_1\ (\omega = \infty)} = p\ (\omega_1)\ ,$$

dan volgt uit (17) en (18):

$$\omega_1 L = \frac{R_i R_b}{R_i + R_b} \sqrt{\frac{p^2}{1 - p^2}} \quad . \ . \ . \ (19)$$

Hiermee kunnen wij berekenen hoe groot $L$ moet zijn, opdat bij een verlaging van de frequentie tot $\omega_1$ de versterking tot op een fractie $p$ verminderd is. Zoo zien wij, dat, indien $\omega_1 L = \frac{R_i R_b}{R_i + R_b}$, de versterking gedaald is tot 70 % van de normale waarde. Wij moeten dus, zoowel voor de beoordeeling van de frequentiekarakteristiek als voor de grootte van de vervorming, de impedantie van de transformator vergelijken met de uitwendige belasting. In sommige gevallen zal de frequentiekarakteristiek goed zijn, terwijl de vervorming te groot is; in andere gevallen zal het andersom zijn; dit hangt af van de eigenschappen van het transformatorijzer. Bij $p = 0{,}7$ is de inwendige impedantie voor de derde harmonische reeds driemaal zoo groot als de uitwendige, zoodat de vervorming bij deze frequentie reeds sterk verminderd wordt. Bij nog lagere frequentie dan $\omega_1$ wordt de vervorming natuurlijk grooter.

In het hier behandelde voorbeeld gaat door de spoel ook gelijkstroom. Dan is de hysteresislus niet meer symmetrisch, zoodat ook even harmonischen ontstaan. Voor het overige gelden voor dit geval dezelfde beschouwingen.

### Vervorming bij hooge inductie

Het voorafgaande is slechts geldig bij zeer lage inductie. Zoodra deze hooger wordt, is het niet meer mogelijk het probleem mathematisch te behandelen. Gelukkig gaan de boven beschreven verschijnselen wel eenigermate door, zoodat het niet noodig is de vervorming, behalve bij alle inducties, ook nog bij alle belastingen te meten. Indien bekend is, hoe de zelfinductie en de vervorming bij een onbelaste spoel van de amplitude afhangen, kunnen wij behoorlijk de vervorming bij verschillende belastingen voorspellen. Alleen de wervelstroominvloed is in dit geval zeer moeilijk te overzien, omdat de permeabiliteit bij de meeste materialen zeer sterk van de amplitude afhangt. Daarom is het noodig deze wervelstroomen zooveel mogelijk te vermijden, dwz. de metingen bij zeer lage frequentie uit te voeren; trouwens de vervorming van spoelen in versterkers is alleen bij lage frequentie belangrijk, zooals reeds meermalen opgemerkt is.

In *fig. 12* geven we tenslotte een voorbeeld van de vervorming door siliciumijzer in onbelaste toestand, en zoodanig belast, dat bij de grondfrequentie $\omega L = R_b$. Men ziet bijzonder duidelijk, hoe goed de inwendige impedantie van de spoel zijn plicht doet om de vervorming te verminderen. Het blijkt uit de getrokken kromme, dat het blik nog goed te gebruiken is tot $B = 8000$ gauss (vervorming $< 5\%$), en dat de vervorming over het algemeen genomen niet belangrijk is vergeleken met de vervorming, welke door versterkerlampen geintroduceerd wordt.

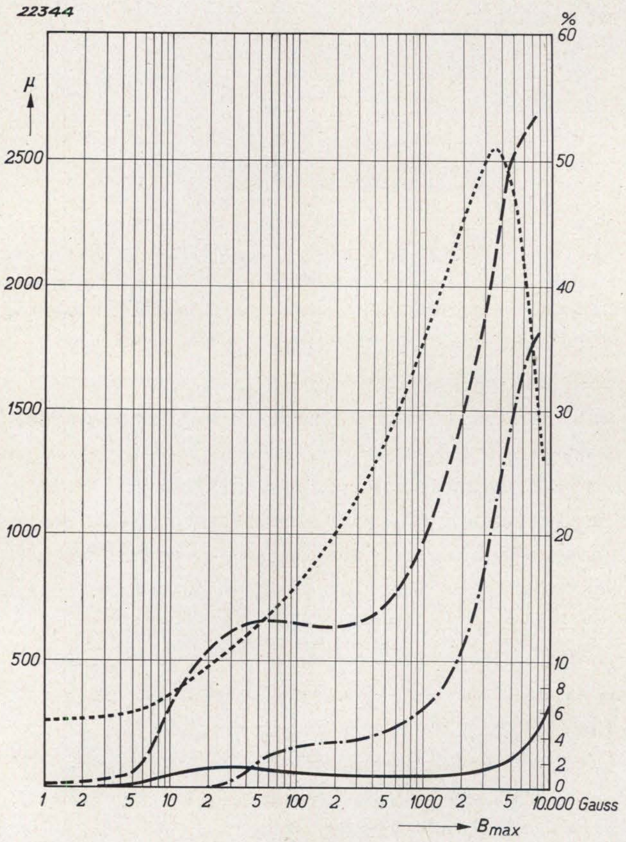


Fig. 12. Vervorming door siliciumijzer in afhankelijkheid van $B_{max}$. ...... permeabiliteit, — — — — — 3e harmonische bij onbelaste spoel, — · — · — · — 5e harmonische bij onbelaste spoel, ———— 3e harmonische als de spoel zoodanig is belast, dat voor de grondgolf $\omega L = R_b$ geldt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



# MANOMETERS VOOR LAGE GASDRUKKEN

door F. M. PENNING.

**Samenvatting.** De verschillende principe's voor het meten van lage gasdrukken en de daarop berustende manometers worden kort besproken. Enkele nieuwere vormen worden uitvoeriger beschreven, in 't bijzonder die welke berusten op electrische gasontladingen.

## Definitie van de gasdruk, eenheden

De druk van een gas is per definitie de kracht per oppervlakteeenheid, die de gasmolekulen door hun botsingen op de wand van het vat uitoefenen. De CGS-eenheid hiervoor, 1 dyne/cm², noemt men de barye[1]); gebruikelijker is als eenheid voor lage drukken de mm kwikzuil, tegenwoordig naar Torricelli ook wel tor genoemd. Het verband tusschen deze grootheden is: 1 mm Hg = 1 tor = = 1333 barye = 1333 dyne/cm² = 1/760 atm.

Wij beperken ons in dit artikel tot gasdrukken beneden 1 atmosfeer en bespreken inzonderheid die beneden 1 mm Hg.

## Principe's van drukmeting

Behalve de gasdruk zelf kan men principieel elke eigenschap van het gas, die met de druk verandert als maat voor de druk gebruiken. Als zoodanig komen in aanmerking:

1) gasdruk,
2) warmtegeleiding door het gas,
3) inwendige wrijving,
4) radiometereffect,
5) onzelfstandige gasontlading,
6) zelfstandige gasontlading.

Voor zoover de op deze principe's berustende manometers reeds in bestaande boeken (zie literatuur-opgave) beschreven zijn, zal in dit artikel meestal met een korte aanduiding worden volstaan, terwijl enkele nieuwere vormen uitvoeriger zullen worden behandeld.

## Manometers, berustend op de bepaling van de gasdruk zelf

Hierbij bepaalt men de druk door de verplaatsing te meten van een vloeistofoppervlak, (vloeistofmanometers) of van een elastisch vast oppervlak (mechanische manometers); teneinde de gevoeligheid der meting te vergrooten kan men ook de druk eerst door samenpersen met een bekende factor vermenigvuldigen (McLeod). Het oppervlak, dat zich onder invloed van de druk moet verplaatsen, behoeft echter geen deel van de wand te vormen, maar kan ook vrij zijn opgehangen. Dit is het geval bij de

Molekuulstraalmanometer (*fig. 1*),

die door Mayer werd ontworpen voor het bepalen van zeer kleine dampdrukken[2]). In ballon *I* bevindt zich de stof van de te meten dampdruk; door een

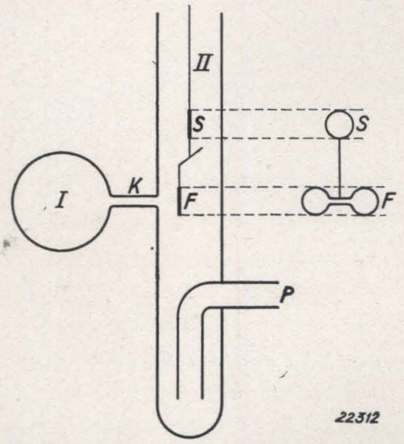


Fig. 1. Molekuulstraal-manometer voor het meten van dampdrukken (Schematisch). De ruimte *II* is bij *P* aan een pomp verbonden; de dampdruk van de in *I* aanwezige stof geeft het vaantje *F* een zekere uitwijking uit de evenwichtsstand.

capillair *K* is *I* verbonden met een ruimte *II* die door de wijde buis *P* heen doorloopend zoo sterk mogelijk wordt geëvacuëerd. In de ruimte *II* hangt een zeer licht vleugeltje met 2 aluminium-schijfjes van 0,01 mm dikte en 4 mm doorsnee, één dezer schijfjes bevindt zich juist voor de opening van *K*. Door de uit *K* tredende molekuulstraal zal *F* uit zijn evenwichtsstand worden gedraaid. De grootte van de draaiingshoek wordt met behulp van het spiegeltje *F* afgelezen, zij bleek bij het gebruikte toestel beneden $10^{-2}$ mm evenredig met de druk. Het toestel kan bijv. met een stof, waarvan de dampdruk bekend is, geijkt worden. Mayer kwam tot een gevoeligheid van $10^{-6}$ mm Hg per mm uitslag. Een groot bezwaar van deze manometer is, dat aan de trillingsvrije opstelling zeer hooge eischen worden gesteld; uit de aard der zaak kan hij niet voor het meten van constante gasdrukken gebruikt worden.

[1]) Betreffende de eenheden bar en barye heerscht in de litteratuur groote verwarring. Vroeger werd in sommige landen (Duitschland, Vereenigde Staten van Amerika) de CGS eenheid ook wel bar genoemd. Tegenwoordig wordt echter vrij algemeen aangenomen 1 bar = $10^6$ dyne/cm² = = 0,99 atm. en 1 barye of microbar = 1 dyne/cm².

[2]) H. Mayer, Phys. **67**, 240, 1931.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized by www.freeservicemanuals.info
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



**Manometers, berustend op de afhankelijkheid der warmtegeleiding van de druk**

Een van de successen der kinetische gastheorie bestond in de verklaring van het feit, dat de warmtegeleiding in een gas onafhankelijk is van de druk. Een op de verandering der warmtegeleiding gebaseerde manometer zou dus onmogelijk zijn. De genoemde eigenschap geldt echter slechts in een bepaald drukgebied. Bij hooge druk wordt de warmteoverdracht van de druk afhankelijk omdat niet alleen geleiding maar ook convectie optreedt; principieel is in dit gebied dus een warmteoverdrachtsmanometer mogelijk en ook reeds voorgesteld [3]).

Bij lage drukken is de warmtegeleiding slechts zoolang onafhankelijk van de druk als de vrije weglengte $\lambda$ der gasmolekulen klein is t.o.v. de afstand $d$ tusschen het heete en het koude voorwerp ($\lambda \ll d$). Het is duidelijk, dat bij een druk nul ($\lambda \gg d$) de warmtegeleiding nul moet zijn, en er dus een overgangsgebied bestaat, waar de warmtegeleiding wel met de druk verandert. Neemt men $d = 1$ cm, dan is $\lambda = d$ voor een druk van ca. 0,01 mm Hg en daarmee wordt een overgangsgebied van $10^{-1}$ tot $10^{-3}$ mm Hg plausibel.

In dit overgangsgebied kan men de druk als volgt meten: in het midden van een glazen buis of ballon plaatst men een metalen voorwerp, waaraan per secunde een constante hoeveelheid warmte wordt toegevoerd. De warmteafgifte naar de glaswand bepaalt de temperatuur van het metaal, deze laatste is dus een maat voor de druk. Manometers van dit type moeten vóór het gebruik worden gecalibreerd bijv. met een McLeod. De meest gebruikte uitvoeringen zijn:

1. Pirani-manometer.

Hierbij bestaat het metalen voorwerp uit een dunne draad (fig. 2a), die door een electrische stroom wordt verwarmd en waarvan de weerstand een maat voor de temperatuur is.

2. Thermo-element-manometer.

Behalve de weerstand kan men ook andere eigenschappen van metalen voor het meten der temperatuur gebruiken bijv. de thermokracht. Men combineert dan de gloeidraad met een thermokoppel (fig. 2b). In plaats van stroom door een gloeidraad te sturen, kan men de warmte ook toevoeren, door het thermoelement met een lichtbron van constante sterkte te bestralen. In beide gevallen is de temperatuur die het thermoelement aanneemt weer een maat voor de druk.

3) Th. Haase, G. Klages en H. Klumb, Phys. Z. **37**, 441, 1936.

3. Bimetaal-manometer.

Klumb en Haase [4]) gebruikten kort geleden als maat voor de temperatuur de vormverandering van een bimetaalband (rechte strook of spiraal).

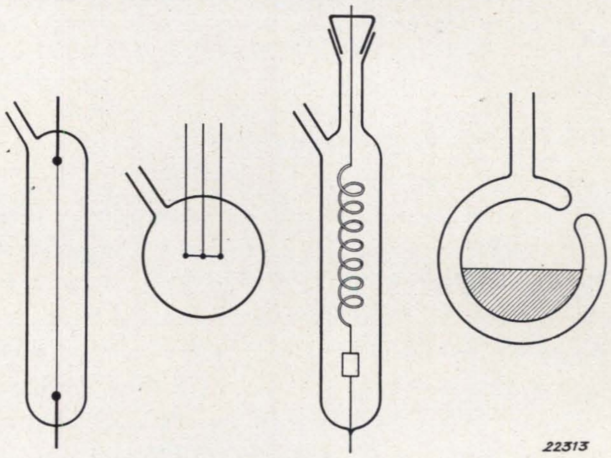


Fig. 2. Principes van warmtegeleidingsmanometers:
*a*) weerstand (Pirani),
*b*) thermo-element (Voege, Rohn),
*c*) bimetaal (Klumb en Haase),
*d*) Dewar-vat (Herzog en Scherrer).

Het principe van een manometer met een bimetaalspiraal is in fig. 2c weergegeven. De spiraal wordt ook hier door Joule-warmte verhit, daarbij draait het er aan bevestigde spiegeltje zich over een zekere

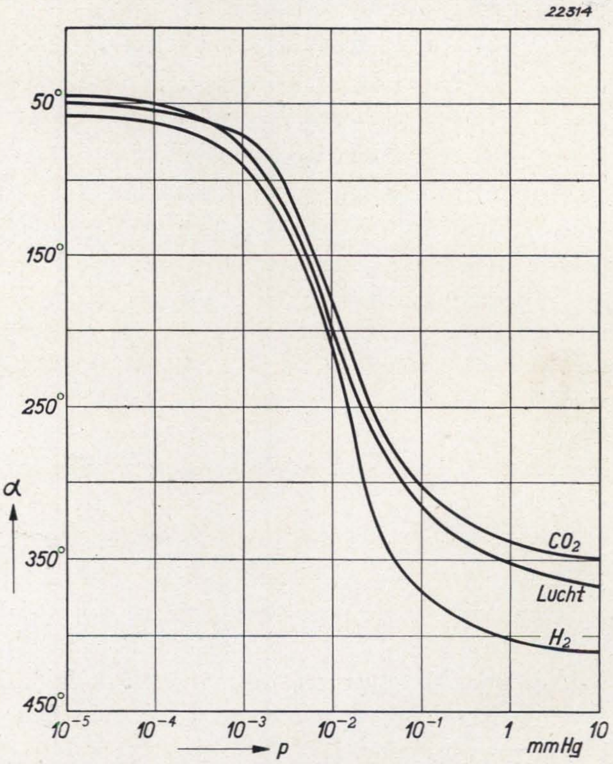


Fig. 3. Hoek $\alpha$, waarover de torsieknop bij de bimetaalmanometer moet worden gedraaid ter compenseering van de spiegeldraaiïng.

4) H. Klumb en Th. Haase, Phys. Z. **37**, 27, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info



hoek, deze draaiing kan met een torsieknop worden gecompenseerd. Het bedrag in graden, waarover deze laatste moet worden gedraaid, is een maat voor de druk. *Fig. 3* geeft de resultaten voor enkele gassen. De insteltijd van dit instrument is lang, ca. 1 min.

4) Warmtegeleidingsmanometer, berustend op de verdampingssnelheid van vaste stoffen of vloeistoffen.

Een manometer volgens dit principe werd aangegeven door Herzog en Scherrer [5]). De ruimte waarvan men de druk wil meten staat in verbinding met de ruimte tusschen de wanden van een dubbelwandige ballon, die van binnen met vast koolzuur is gevuld (fig. 2d). De ballon is dus een soort Dewar-vat, waarin het koolzuur minder snel zal verdampen naarmate de druk tusschen de wanden van het vat lager is, zoodat de verdampingssnelheid van het koolzuur hier een maat is voor de druk. Dit instrument is niet voor nauwkeurige drukmeting bedoeld.

**Manometers, berustend op de afhankelijkheid der inwendige wrijving van de druk**

Evenals de warmtegeleiding is ook de inwendige wrijving van een gas, hoewel onafhankelijk van de druk zoolang $\lambda \ll d$, in een overgangsgebied voor de meting van de druk te gebruiken. Ook de op dit principe berustende manometers moeten worden geijkt, terwijl de aanwijzing van de gebruikte gassoort afhangt. Ze zijn van tweeërlei type nl.:

1) Dempingsmanometers.

Hierbij wordt de demping door het gas van een oscillatie- of rotatietrilling gemeten. We noemen drie vormen. Bij de eerste brengt men een dunne draad van glas of een andere

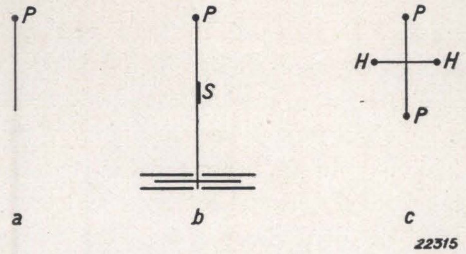


Fig. 4. Principes van dempingsmanometers:
*a*) trillende kwartsdraad,
*b*) roteerende schijf met spiegeltje *S*,
*c*) roteerende kwartshalter *HH*; het oppervlak van *H* wordt als bolle spiegel gebruikt.
De bevestigingspunten zijn met *P* aangegeven.

[5]) G. Herzog en P. Scherrer, Helv. Phys. Acta **6**, 277, 1933.

stof door tikken in trilling (*fig. 4a*), bij de tweede en derde laat men een aan een draad opgehangen voorwerp door middel van een magneetje rotatie-trillingen uitvoeren, nl. òf een schijf (fig. 4b) òf een kwartshaltertje (fig. 4c), waarvan een der bolletjes als spiegel dienst doet. In alle drie gevallen is de demping van de beweging een maat voor de druk.

2) Molekulaire manometer volgens Langmuir en Dushman.

Hierin oefent een snel roteerende aluminiumschijf *A* op een dunne micaschijf *M* (*fig. 5*), een kracht uit, die grooter is naarmate zich een hoogere druk in het toestel bevindt.

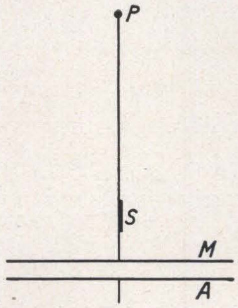


Fig. 5. Molekulaire manometer volgens Langmuir en Dushman. *A* snel roteerende aluminiumschijf; *M* micaschijf waarvan de afwijking uit de evenwichtsstand met behulp van het spiegeltje *S* wordt afgelezen.

**Manometers, berustend op het radiometereffect**

Deze manometers berusten op het feit, dat in een zeer verdund gas (vrije weglengte $\gg$ afmetingen van het vat) twee oppervlakken van verschillende temperatuur een mechanische kracht op elkaar uitoefenen. Aan deze kracht moet ook het draaien van de bekende radiometer van Crookes worden toegeschreven. We beschouwen een vlakke plaat *B* (*fig. 6*) op de absolute temperatuur *T* tusschen twee andere platen *A* en *C* op temperaturen

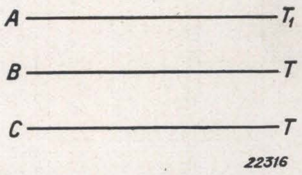


Fig. 6. Mechanische kracht, uitgeoefend op een plaat *B* op temperatuur *T* tusschen een plaat op dezelfde temperatuur en een op hoogere temperatuur $T_1$. Dank zij de grootere snelheid der moleculen die van boven komen is de druk, op de bovenkant van *B* uitgeoefend, grooter dan die op de onderkant.

$T_1$ resp. $T$. In de evenwichtstoestand zal het aantal $n$ van molekulen, dat elk van de drie platen per $cm^2$ en sec treft, onderling gelijk zijn. De molekulen die *B*

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



treffen hebben, bij de beschouwde lage gasdruk, practisch alle hun laatste botsing ondergaan op het oppervlak van de tegenoverliggende plaat, en daarbij de temperatuur van deze plaat aangenomen. De bovenkant van $B$ wordt dus getroffen door molekulen van de temperatuur $T_1$, de onderkant door molekulen van de temperatuur $T$; de molekulen die $B$ verlaten hebben eveneens een temperatuur $T$. De kracht per cm², op $B$ uitgeoefend, is volgens de beginselen der kinetische gastheorie $n\,m\,(v_a + v_b)$, als $m$ het moleculair gewicht van het beschouwde gas is, $v_a$ resp. $v_b$ de gemiddelde snelheidscomponenten loodrecht op het oppervlak waarmede de gasmolekulen het oppervlak treffen, resp. verlaten en $n$ het aantal stooten per cm² per sec. Daar $v$ evenredig is met $\sqrt{T}$, dus $v = c\sqrt{T}$; geldt voor het drukverschil $\Delta p$ tusschen de boven- en de onderkant van $B$:

$$\Delta p = n\,m\,c\,(\sqrt{T_1} - \sqrt{T}).$$

Is de buitenwand van het vat op de temperatuur $T$, dan geldt voor de gasdruk in de rest van het vat

$$p = 2\,n\,m\,c\,\sqrt{T}$$

en dus

$$\Delta p = \frac{p}{2}\left(\frac{\sqrt{T_1}}{\sqrt{T}} - 1\right).$$

De resulteerende kracht is dus onafhankelijk van de aard van het gebruikte gas.

1. De absolute manometer van Knudsen.

De absolute manometer volgens Knudsen bestaat uit twee systemen van het in fig. 6 aangegeven type waarbij echter in de plaats van de plaat $C$ de glaswand komt. De twee strooken $B$ (*fig. 7*) zijn

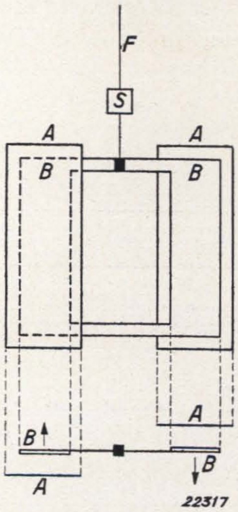


Fig. 7. Absolute manometer van Knudsen, van voren (*a*) en van boven (*b*) gezien. De vaste platen $A$ worden op een hoogere temperatuur gehouden dan de rest van de buis en oefenen daardoor op de vaantjes $B$ een kracht uit in de pijlrichting. De draaiïng van $B$ wordt met het spiegeltje $S$ afgelezen.

tot een raampje vereenigd dat aan een draad $F$ is opgehangen. De vaste platen $A$ worden electrisch op een hoogere temperatuur $T_1$ dan de rest van het vat gebracht en oefenen dus een druk in de pijlrichting uit op $B$; de draaiing van $B$, die met behulp van een aan $F$ bevestigd spiegeltje wordt afgelezen, is een maat voor de druk. Uit de afmetingen, de trillingstijd enz. van het raampje kan met behulp van de bovenstaande formule de absolute waarde van de druk worden bepaald. De Knudsen-manometer is de eenige manometer, die steeds de gasdruk in absolute maat aangeeft; bij de McLeod is dit alleen het geval voor zoover alle aanwezige gassen en dampen de wet van Boyle volgen.

Kort geleden is door Du Mond en Pickels [6]) een nieuwe uitvoering beschreven die zich voor algemeen gebruik zou leenen, waarbij aan de manometer een schaal bevestigd is, die een directe drukaflezing mogelijk maakt tusschen $10^{-4}$ en $10^{-6}$ mm Hg. In deze vorm moet de manometer gecalibreerd worden. De Knudsen-manometer blijft echter ook in deze vorm het nadeel houden, dat het een teer instrument is, dat niet gemakkelijk is te maken, en alleen te gebruiken is in een trillingsvrije opstelling.

2. Aluminiumbladmanometer van Knudsen.

Deze berust nog meer direct op het principe van fig. 6. Als plaat $B$ doet hier dienst een dun verticaal hangend aluminium blaadje zooals in een electroscoop, de uitwijking ervan uit de evenwichtsstand is een maat voor de druk.

3. „Molvakumeter" volgens Gaede [7]).

Onder deze naam is kort geleden een nieuwe manometer volgens het hier beschreven principe in de handel gebracht. Als platen op hoogere temperatuur doen hier twee strooken $HH$ van de glaswand zelf dienst (*fig. 8*) die door electrische verwarmingselementen worden verhit. Ook hier is weer een raampje met twee dunne strookjes $BB$ aan een draad opgehangen. De evenwichtsstand van $BB$ onder invloed van de gasdruk ligt in het vlak $EE$, men laat de elastische evenwichtsstand hiermee samenvallen. Teneinde nu aan het raampje $BB$ een andere stand, bijv. de in *fig. 8* aangeduide, te geven moet men een bepaald koppel aanleggen, dat grooter is naarmate de druk hooger is. Men brengt deze afwijking teweeg door een stroom $i$ in de spoelen $S$, die het op de draad bevestigde magneetje $M$ draaien. De grootte van $i$ voor een vaste stand van $BB$ is

[6]) J. W. M. Du Mond en W. M. Pickels, Rev. Sci. Instr. **6**, 362, 1935.
[7]) W. Gaede, Z. techn. Phys. **15**, 664, 1934.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info



dus een maat voor de druk, deze laatste wordt direct op de knop van een draaiweerstand *R* afgelezen. De stand *BB* wordt ingesteld met behulp van de wijzer *W*. De manometer wordt empirisch geijkt, maar de aflezing is onafhankelijk van de gebruikte gassoort. Daar de „thermische" richt-

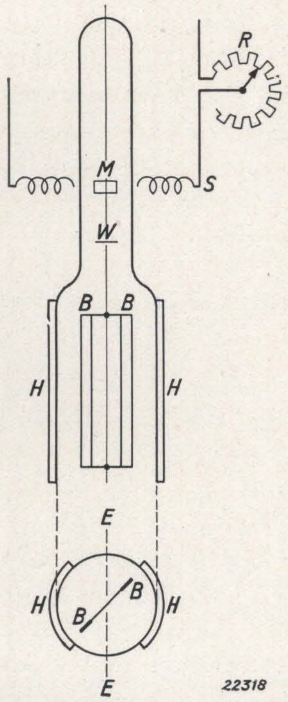


Fig. 8. „Molvakumeter" volgens Gaede. De strooken *H* van de glaswand worden door erop gelegde verwarmingselementen op hoogere temperatuur gebracht dan de rest van de buis. Ze oefenen daardoor op het raampje *BB* een thermische richtkracht uit wanneer dit zich niet in de elastische evenwichtsstand *EE* bevindt. Het raampje wordt in een vaste stand *BB* gedraaid met behulp van het magneetje *M* en de stroom *i* door de spoelen *S*. *i* zal grooter zijn naarmate de druk in de buis hooger is. De grootte van *i*, ingesteld met de draaiweerstand *R*, is een maat voor de druk.

kracht ook de trillingstijd van het systeem bepaalt, kan men deze laatste eveneens als maat voor de druk gebruiken; als relatieve nauwkeurigheid van deze methode wordt een waarde van 1 % opgegeven. Deze manometer kan ook als dempingsmanometer (zie boven) worden gebruikt; in dit geval is de uitkomst afhankelijk van de inwendige wrijving dus in de eerste benadering van het molekulairgewicht van het gebruikte gas. Combinatie van beide methoden kan dus, behalve de druk, ook het effectieve molekulair-gewicht geven.

## Manometers, berustend op een onzelfstandige gasontlading

Bij een onzelfstandige gasontlading worden de primaire electriciteitsdragers niet door de ontlading zelf gevormd, maar door een uitwendig middel bijv. door verhitting van een gloeidraad, of door foto-effect. Wanneer nu op een dergelijke wijze gevormde electronen, ionen, of ook stralings-quanten van voldoende energie, zich door een gas bewegen zullen zij daarin ionisatie teweeg brengen; is de gasdruk laag genoeg dan is het aantal gevormde ionen en electronen evenredig met de druk en de door het ioniseerende deeltje afgelegde weg. *Fig. 9*

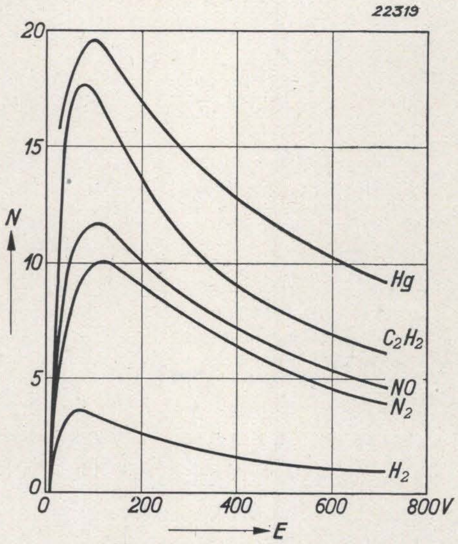


Fig. 9. Ionisatie door electronen als functie van de versnellende spanning in volts. $N$ = aantal ionisaties per cm weg per mm druk.

geeft het aantal ionisaties $N$ per cm weg per mm druk van electronen voor een aantal gassen als functie van de electronenenergie. Men ziet dat $N$ bij de meeste gassen maximaal is voor een energie van de orde van 100 electron-volt en dat het dus voor het meten van lage drukken aanbeveling verdient de gemiddelde electronen-energie deze waarde te geven. Daar het aantal ionisaties door positieve ionen en stralingsquanten van matige energie zeer veel geringer is, ligt het gebruik van electronen voor dit doel het meest voor de hand.

### Ionisatie-manometer.

In de onder deze naam bekende manometer wordt de ionisatie dan ook door electronen, uit een wolfraam-gloeidraad $F$ (*fig. 10*) afkomstig, veroorzaakt. Het toestel heeft dikwijls de vorm van een triode, waarbij het rooster $G$ en de plaat $A$ concentrisch met de gloeidraad $F$ zijn aangebracht. Men houdt nu een van de electroden $A$ of $G$ op negatieve potentiaal t.o.v. de gloeidraad, zoodat er alleen ionen op kunnen komen (stroom $i_+$), terwijl de primaire en de secundaire electronen alleen naar de derde, positieve electrode gaan (stroom $i_-$). De druk is dan, zoolang de vrije weglengte der electronen groot is t.o.v. de doorloopen weg, evenredig met $i_+/i_-$. Door $i_-$ groot te maken, bijv. 10 mA en voor de bepaling van $i_+$ een gevoelige galvano-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized by www.freeservicemanuals.info
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



meter te nemen, kan men drukken tot $10^{-6}$ mm meten. Desgewenscht kan men ook de ionenstroom vóór het meten versterken.

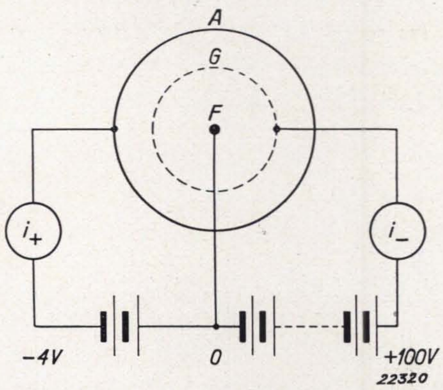


Fig. 10. Ionisatie-manometer. Naar *A* gaat de ionenstroom $i_+$, naar *G* de electronenstroom $i_-$, de druk is evenredig met $i_+/i_-$.

De gevoeligheid van de methode is het grootst wanneer *G* positief wordt gemaakt, in dit geval schieten de electronen nl. gedeeltelijk langs de draden van het rooster *G* heen, beschrijven daardoor langere wegen, voor ze op *G* terechtkomen en hebben dus meer kans om te ioniseeren. De weg kan nog verder vergroot worden met behulp van een magneetveld.

Uit fig. 9 blijkt, dat de aanwijzing van de ionisatiemanometer afhankelijk is van de gassoort. Oorspronkelijk gaven Found en Dushman aan, dat de ionisatie evenredig zou zijn met het moleculairgewicht van het gebruikte gas; uit fig. 9 volgt echter, dat dit niet het geval is en latere uitvoerige metingen van Reynolds [8]) met ionisatie-manometers hebben dan ook bewezen, dat deze evenredigheid niet algemeen mag worden aangenomen.

In plaats van rechtstreeks de ionenstroom te meten, kan men met de ionisatiemanometer ook nog op andere manier de gasdruk bepalen. Wordt *A* als anode en *G* als negatieve electrode gebruikt, dan zal, in vacuum, de inschakeling van een weerstand in de roosterkring geen invloed op de anodestroom hebben, daar de roosterstroom = 0 is. Bij aanwezigheid van gas zal er echter een positieve ionenstroom naar het rooster loopen, inschakeling van een weerstand in deze stroom zal dus de roosterspanning en daarmee ook de anodestroom veranderen. Deze stroomverandering is een maat voor de druk [9]). Een andere methode is, de ionenstroom te gebruiken voor het laden van een condensator, die met het rooster van een andere vacuum-triode of een relaisbuis verbonden is en de anodestroom van deze laatste bestuurt [10]). Het aantal ontladingen per secunde in deze laatste buis is dan een maat voor de druk.

Tenslotte kan men, in plaats van een verzadigde electronenstroom uit de kathode te trekken, ook een zoo lage anodespanning kiezen, dat de stroom in vacuum door de electronenruimtelading begrensd is. Worden nu, bij lage gasdruk, positieve ionen gevormd, dan kunnen deze de ruimtelading van een groot aantal electronen neutraliseeren en dus de kathodestroom sterk doen toenemen. Bij deze methode van drukmeting, voorgesteld door Spiwak en Ignatow [11]), is dus de anodestroom zelf maatgevend voor de druk.

**Manometers berustend op een zelfstandige gasontlading**

Bij een zelfstandige gasontlading worden de ladingsdragers in het gas of aan de electroden door de ontlading zelf gevormd met geen ander uitwendig middel dan de aangelegde spanning. Hoewel hierbij verschillende grootheden bijv. de stroom, de stroomdichtheid, de afmeting van verschillende ontladingsdeelen van de druk afhangen, zijn deze tot nu toe weinig voor quantitatieve drukmeting gebruikt, daar ze in het algemeen slecht reproduceerbaar zijn en sterk met de aard van het aanwezige gas varieeren [12]). Om een grove indruk van het vacuum in een glazen vat te krijgen, gebruikt men in de hoogvacuumtechniek dikwijls het lichtverschijnsel, dat optreedt bij het aanleggen van een hoogfrequent electrisch veld. Tot ongeveer $10^{-3}$ mm Hg ziet men dan het gas zelf nog oplichten, terwijl bij lagere druk alleen de glaswand groen fluoresceert.

Een zelfstandige gasontlading gaat bij gebruik van gelijkspanning of laagfrequente wisselspanning in een buis van matige afmetingen en bij spanningen van de orde van 1000 V reeds bij een gasdruk van ongeveer $10^{-3}$ mm uit, en kan dus voor lagere gasdrukken alleen daarom al niet gebruikt worden. Het is echter gebleken, dat men met behulp van een magneetveld en een geschikt gekozen electrodeopstelling tot veel lagere drukken kan komen en dat men op deze wijze een eenvoudige manometer voor drukken tot $10^{-5}$ mm kan vervaardigen.

[8]) N. B. Reynolds, Physics **1**, 182, 1931.

[9]) H. Teichmann, Z. techn. Phys. **9**, 22, 1928.

[10]) R. Sewig, Z. techn. Phys. **12**, 218, 1931; A. Butschinsky, Techn. Phys. U.S.S.R. **3**, 223, 1936.

[11]) G. Spiwak en A. S. Ignatow, Sow. Phys. **6**, 53, 1934. G. Hertz, Z. Phys. **18**, 307, 1923.

[12]) Bij het gebruik van hooge wisselspanning (7000 $V_{eff}$) zijn door Wellauer gunstige resultaten bereikt in een drukgebied tusschen $5 \cdot 10^{-3}$ en $10^{-1}$ mm Hg (Arch. Electrot. **24**, 4, 1930)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



**Philips vacuummeter**

Deze berust op het genoemde principe, dat wij aan de hand van *fig. 11* nader willen toelichten. Wanneer men voor de kathode der ontlading twee

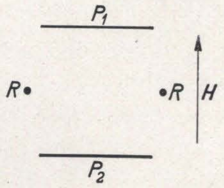


Fig. 11. Principe van de Philips vacuummeter. De electronen die uit de platen $P_1$ en $P_2$ (samen kathode) komen, begeven zich niet rechtstreeks naar de ring *RR* (anode) maar gaan onder de invloed van het magneetveld in een spiraalvormige baan vele malen tusschen $P_1$ en $P_2$ heen en weer.

platen $P_1$ en $P_2$ tegenover elkaar neemt en als anode een ring *R*, dan zullen, zonder magneetveld, de uit $P_1$ en $P_2$ komende electronen zich langs gekromde banen naar de ring *R* begeven. Wanneer men echter een voldoend sterk magneetveld in de richting $P_2$ - $P_1$ aanlegt, wordt dit veranderd; de uit $P_1$ komende electronen bewegen zich dan in nauwe spiralen om de magnetische krachtlijnen heen naar $P_2$, worden daar door het vertragende electrische veld teruggeworpen naar $P_1$ en kunnen zoo een groot aantal malen tusschen $P_1$ en $P_2$ heen en weer gaan, alvorens de anode te bereiken. Dit heeft tengevolge dat de electronen, ook bij zeer lage gasdruk, nog voldoende gasmolekulen treffen en voldoende ionisatie teweegbrengen om een zelfstandige gasontlading mogelijk te maken.

De op dit principe berustende manometer is in *fig. 12* weergegeven. De platen *P* en de ring *R*

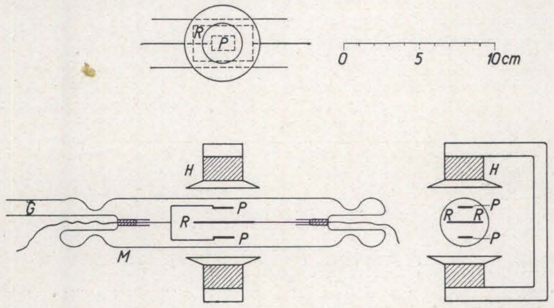


Fig. 12. Philips vacuummeter met 2 plaatvormige kathoden $P_1$ en $P_2$ en een ring-anode *R* in het veld van een permanente magneet *H*.

bevinden zich in het veld van een permanente magneet *H* die in het midden tusschen de poolschoenen een veldsterkte van ca. 370 oersted levert. De electroden worden volgens de in *fig. 13* aangegeven schakeling over een weerstand van 1 megohm aan een plaatspanningsapparaat van 2000 volt van gering vermogen aangesloten. De stroom *i* door de manometer-buis *M* is nu een maat voor de gasdruk; hij kan op een micro-amperemeter met shunts

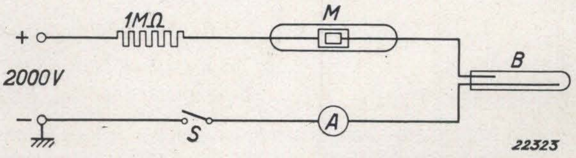


Fig. 13. Schakeling van de Philips vacuummeter met als stroommeter het afstembuisje *B* en de μA-meter *A*.

worden afgelezen. Bij qualitatieve metingen kan men in plaats daarvan met voordeel een glimlichtbuisje bijvoorbeeld het afstembuisje Philips 4662 gebruiken, waarbij de lengte *l* van het glimlicht een maat is voor de stroom en dus voor de druk in buis *M*.

Fig. 14 geeft het verband tusschen *i* of *l* en de druk *p* voor het gebied van $2 \times 10^{-3}$ tot $10^{-5}$ mm Hg. De krommen zijn de gemiddelden voor lucht,

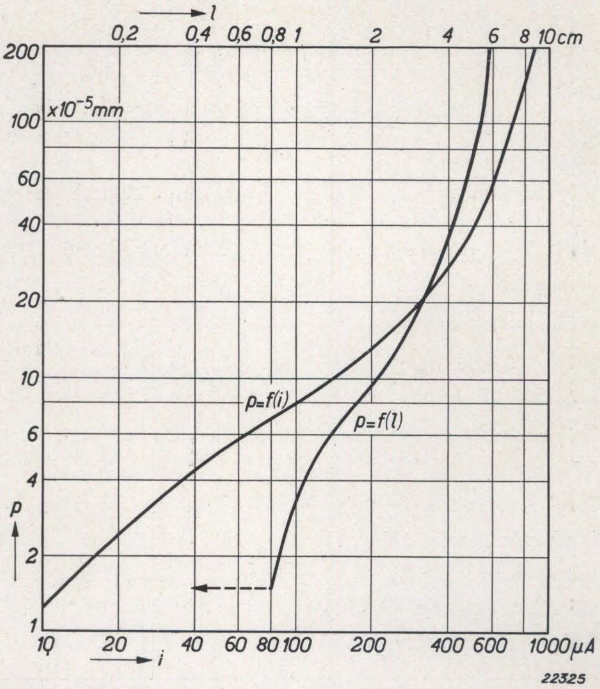


Fig. 14. Gasdruk *p* bij de Philips vacuummeter als functie van de ontladingsstroom *i* of de glimlichtlengte *l* in het afstembuisje (gemiddelde voor $H_2$, CO, Ar en lucht).

waterstof, koolzuur en argon, waarbij de waarden voor *p* binnen een factor 2 met elkaar overeenstemmen.

Dit apparaat [13]) dat elders [14]) uitvoeriger beschreven is, heeft het voordeel van een groote eenvoudigheid, het behoeft niet trillingsvrij te worden opgesteld en voor het bepalen van de druk is maar één aflezing, zonder instelling noodig. Het is daardoor zeer geschikt voor gebruik in fabricage-

[13]) In de handel gebracht door E. Leybold Nachfolger A.G., Köln-Bayental.

[14]) F. M. Penning, Physica 4, 71, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



ruimten en maakt een gelijktijdige en doorloopende controle van meerdere pompopstellingen mogelijk. Bovendien kan het in de onmiddellijke nabijheid van de te pompen apparatuur worden aangesmolten. In vergelijking met de McLeod heeft het de voordeelen van een voortdurende momentane en uit de verte goed zichtbare aanwijzing van het vacuum; bovendien wijst het ook de druk van condenseerbare dampen aan en geeft zelf geen damp-druk. Dit laatste is van belang bij het gebruik van olie-hoogvacuumpompen.

Tenslotte zij nog opgemerkt, dat bij de eerste uitvoeringsvorm de kathodeplaten $P$ van ijzer gemaakt waren; later bleek de gevoeligheid van de manometer nog wat grooter bij een kathode van thorium of van zirkoon; bij deze metalen was ook de verstuiving minder sterk dan bij ijzer.

## Verbindingsbuis tusschen manometer en gasruimte

Bij manometers waarbij blijvend gas wordt verbruikt, zooals de op electriciteitsgeleiding berustende, bestaat er daardoor een drukverval langs de verbindingsbuis tusschen manometer en gasruimte; deze mag daarom niet te nauw worden genomen.

Andere fouten in de drukmeting kunnen ontstaan, wanneer een koeler in vloeibare lucht tusschen de manometer en de ruimte is ingeschakeld. In de eerste plaats zal daarbij uit de aard der zaak de druk van condenseerbare gassen en dampen, die in de gasruimte worden afgegeven, niet of slechts gedeeltelijk worden meegemeten. Daarnaast kan er ook nog een tweede fout ontstaan wanneer de doorsneden van de koeler *op de plaatsen waar hij de vloeibare lucht binnenkomt resp. verlaat*, verschillend zijn [15]). In *fig. 15* stelt het deel tusschen $A$ en $B$ een koeler voor op temperatuur $T'$, waarvan het eene uiteinde een doorsnede $d$ heeft, het andere een doorsnede $D$; de temperatuur links van $A$ en rechts van $B$ is $T$. De druk links van $A$ noemen we $p$, die rechts van $B$: $P$. Voor het drukgebied waarin voorkomende stroomingen volgens de formule van Poiseuille plaats vinden (vrije weglengte $\lambda \ll$ buisdiameters $d$ en $D$) geldt:

$$\lambda \ll d, \quad p = p' = P.$$

Voor het gebied van de Knudsenwetten ($\lambda \gg D$) geldt:

$$\lambda \gg D, \quad \frac{p}{p'} = \sqrt{\frac{T}{T'}} \quad \text{en} \quad \frac{P}{p'} = \sqrt{\frac{T}{T'}}, \quad \text{dus } p = P.$$

Hoewel dus het feit, dat $d$ en $D$ verschillend zijn, in geen van de beide uiterste gebieden van de druk tot fouten aanleiding geeft, geldt dit niet meer voor het tusschengelegen gebied waar $\lambda$ omstreeks gelijk $d$ is. Daar is namelijk $p/p'$ en $P/p'$ afhankelijk van $d$ resp. $D$ en dus is voor $d \neq D$ ook $p/P \neq 1$; fouten van 10 % kunnen daarbij gemakkelijk optreden. Wanneer tusschenschakeling van een koeler noodzakelijk is, verdient het dus bij nauwkeurige drukmetingen aanbeveling een koeler van constante doorsnede te gebruiken.

## Overzicht

In tabel I is een overzicht gegeven van de meest gebruikelijke manometers en de orde van grootte van de druk waarvoor ze geschikt zijn.

**Tabel I.**

| Manometer | Meetbereik (mm Hg) | | | | | | | | | | Drukaflezing afhankelijk van gassoort | Principe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $10^2$ | $10^1$ | $10^0$ | $10^{-1}$ | $10^{-2}$ | $10^{-3}$ | $10^{-4}$ | $10^{-5}$ | $10^{-6}$ | $10^{-7}$ | | |
| Kwikmanometer | — | — | — | — | | | | | | | Neen | Druk |
| McLeod | | — | — | — | — | — | — | | | | Soms *) | Druk na compressie |
| Pirani-manometer (fig. 2a) | | | | — | — | — | | | | | Ja | Warmtegeleiding |
| Knudsen-manometer (fig. 7) | | | | | | — | — | — | — | | Neen | Radiometereffect |
| Molvakumeter (fig. 8) | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | Neen | Radiometereffect |
| Ionisatiemanometer (fig. 10) | | | | | | — | — | — | — | | Ja | Ionisatie door electronen |
| Philips vacuummeter (fig. 11) | | | | | | — | — | — | | | Ja | Gasontlading in magneetveld |

*) Nl. bij aanwezigheid van condenseerbare dampen

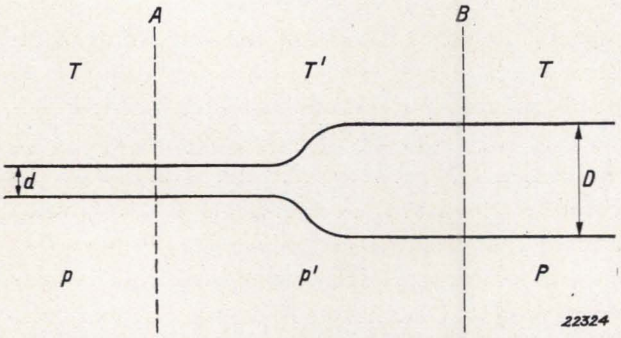


Fig. 15. Gasdrukken in een buis van varieerende diameter op varieerende temperatuur.

## LITERATUUR.

S. Dushman: Production and measurement of high vacua. Schenectady 1922.

A. Goetz: Physik und Technik des Hochvakuums, Braunschweig 1926.

F. H. Newman: The production and measurement of low pressures, London 1925.

G. W. C. Kaye: High vacua, London 1927.

S. Dushman: Recent advances in the production and measurement of high vacua, Journ. Frankl. Inst. **211**, 689, 1931.

[15]) M. Rusch en O. Bunge, Z. techn. Phys. **13**, 77, 1932.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



# HET GEBRUIK VAN VERSTERKERS IN DE TELEFOONTECHNIEK

door W. SIX en H. MULDERS.

**Samenvatting.** Na een behandeling der principes van de tweedraadsversterking en de vierdraadsversterking van telefoongesprekken worden drie verschillende typen van versterkers nader beschreven en wel: een vierdraadsversterker met trioden, een vierdraadsversterker met penthoden en tegenkoppeling en een tweedraadsversterker met penthoden en tegenkoppeling.

Zooals reeds in een vroeger nummer van dit tijdschrift [1]) werd uiteen gezet, was de afstand, waarover telefoonverbindingen tot stand gebracht konden worden, vóór de toepassing van Pupinspoelen nog zeer beperkt. De ontwikkeling van de techniek van gepupiniseerde kabels bracht veel verbetering, maar toch was daarmede de werkingssfeer van de telefoon nog lang niet ongelimiteerd. Een groote vooruitgang in het internationale telefoonverkeer werd pas bereikt na 1920 door de ontwikkeling van de versterkertechniek.

Door het aanbrengen van Pupinspoelen kan men weliswaar de demping van de kabels sterk verminderen, maar over zeer groote afstanden is de verzwakking toch te groot. Om nog grootere afstanden te overbruggen is het noodig door middel van een soort relaiswerking nieuwe energie aan de lijn toe te voeren. Een eerste manier om dit te bereiken is geweest, dat men de lijn op een bepaald punt heeft onderbroken; de aankomende lijn werd aangesloten op een telefoon en de afgaande lijn op een microfoon, terwijl de membranen van telefoon en microfoon mechanisch met elkaar waren verbonden (relais volgens Brown). De op de telefoon aankomende signalen brengen de membraan van de microfoon in trilling en zenden op deze wijze een versterkt signaal verder. De langs de lijn overgebrachte energie wordt dus gebruikt om het relais te besturen, terwijl de nieuw toegevoerde energie door de microfoonbatterij geleverd wordt.

De algemeene toepassing van versterkers in de telefoontechniek kwam echter eerst, toen men door de uitvinding van de drie-electrode-lampen de beschikking kreeg over traagheidslooze en bedrijfszekere relais, waarmede bovendien een groote versterking bereikt kan worden.

## Tweedraads- en vierdraads-verbindingen.

Zooals wij hierboven hebben uiteengezet, wordt het aankomende signaal gebruikt om het relais te besturen. Bij de triode wil dit dus zeggen, dat de aankomende lijn via een transformator op het rooster van de lamp wordt aangesloten. De afgaande lijn wordt, eveneens door middel van een transformator, op de plaatkring aangesloten. Een dergelijke schakeling werkt natuurlijk slechts in één richting. Om het telefoonverkeer in twee richtingen mogelijk te maken, bestaan twee verschillende mogelijkheden, nl. de toepassing van de tweedraadsschakeling en van de vierdraads-schakeling (zie *fig. 1*).

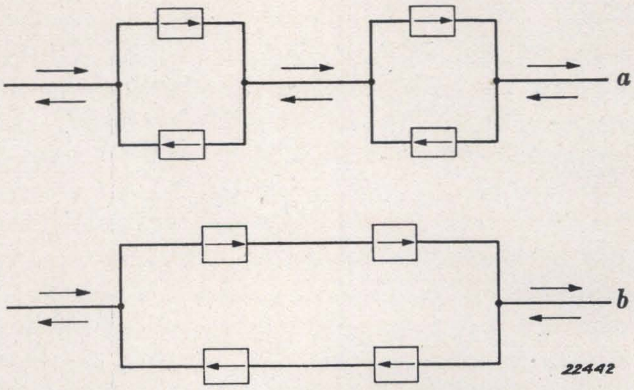


Fig. 1. *a* Schema van een tweedraads-schakeling.
*b* Schema van een vierdraads-schakeling.

Bij de tweedraads-schakeling worden telkens twee versterkers in de lijn aangebracht, waarbij de ingang van de eene versterker parallel geschakeld is aan de uitgang van de andere versterker. De verbindingen tusschen de versterkers in de verschillende versterkerstations bestaan hierbij dus uit een dubbele ader.

Bij de vierdraads-verbindingen is het telefoonverkeer in de eene richting geheel gescheiden van dat in de andere richting. Hierbij zijn dus voor een verbinding twee dubbele aders noodig, terwijl in de eindstations de ingang van de ééne versterker parallel geschakeld is op de uitgang van de andere.

Het parallel schakelen van ingang en uitgang is, speciaal bij de tweedraadsverbindingen, niet zonder meer mogelijk. Daarbij zou nl. het versterkte signaal van de eene versterker op de ingang van de andere komen en daarin weer versterkt worden enz., dat

[1]) W. Six. Het gebruik van Pupinspoelen in de telefoontechniek, Philips techn. T. **1**, 357, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized by www.freeservicemanuals.info
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



wil dus zeggen, dat de versterkers zouden gaan genereeren. Om dit te voorkomen, past men de zg. balansschakeling volgens *fig. 2* toe. Deze balansschakeling is in wezen een brugschakeling.

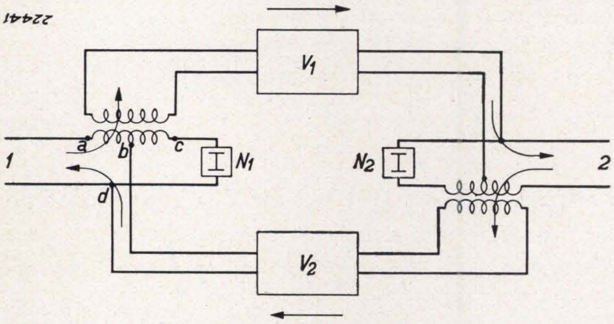


Fig. 2. Balansschakeling. De impedanties van de kabelnabootsingen $N_1$, $N_2$ zijn gelijk aan de golfweerstanden van de lijnen *1*, *2*. Hierdoor wordt bereikt, dat het uitgangssignaal van $V_2$ geen spanning op de ingang van $V_1$ doet ontstaan en vice versa.

De vier takken van de brug worden bijv. op de ingangszijde gevormd door de impedantie van de lijn *1*, de kabelnabootsing $N_1$ en de beide impedanties tusschen de punten $a$ - $b$ en $b$ - $c$, welke afhangen van de ingangsimpedantie van de versterker. De beide transformatorwikkelingen $a$ - $b$ en $b$ - $c$ zijn gelijk, zoodat ook de impedanties tusschen $a$ - $b$ en $b$ - $c$ gelijk zijn. Verder is de impedantie van de kabelnabootsing $N_1$ zoo nauwkeurig mogelijk voor alle frequenties gelijk gemaakt aan de impedantie van de lijn. Indien er nu een spanning staat tusschen de punten $b$ en $d$ (uitgangsspanning van $V_2$), dan zal de spanning tusschen de punten $a$ en $c$ nul zijn, omdat de brug in evenwicht is. Er komt dus geen spanning op de ingang van $V_1$. Omgekeerd zal een signaal, dat aankomt over lijn *1*, wel op de ingang van $V_1$ komen en dus versterkt op lijn *2* worden overgedragen. Het is echter moeilijk, de impedantie van de kabelnabootsing voor alle frequenties precies gelijk te maken aan de lijnimpedantie, omdat deze vooral bij gepupiniseerde kabels in een bepaald frequentiegebied een eenigszins onregelmatig verloop heeft (zie *fig. 4*) tengevolge van inhomogeniteiten in de afstanden en de waarden van de zelfinducties der Pupinspoelen.

De voortplanting van electrische golven langs een kabel werd reeds eerder in dit tijdschrift [2]) theoretisch behandeld. Uit verg. (2) van artikel I kan men gemakkelijk afleiden, dat bij een langs een kabel loopende golf de verhouding $V : I$, welke men golfweerstand noemt, gegeven is door:

$$Z = V : I = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}, \quad \cdots \cdots \quad (1)$$

waarbij $R$ de weerstand, $L$ de zelfinductie, $G$ de afleiding en $C$ de capaciteit per lengte-eenheid van de kabel is. Deze betrekking geldt ook voor gepupiniseerde kabels, mits de frequentie zoo laag is, dat de golflengte groot is ten opzichte van de afstand tusschen de Pupinspoelen.

Is dit echter niet het geval, dan moet men in aanmerking nemen, dat de zelfinducties niet gelijkmatig over de kabel verdeeld zijn. De kabel wordt dan beter door het in *fig. 3* weergegeven vervangingsschema beschreven, dat precies overeenkomt met het in artikel II beschouwde laagdoorlatende filter. In analogie met de daar gegeven beschouwingen kunnen wij verwachten, dat de demping van de gepupiniseerde kabel tot in de buurt van een bepaalde grensfrequentie:

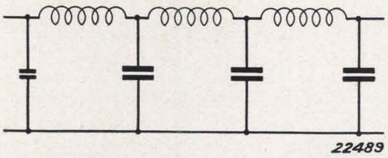


Fig. 3. Vervangingsschema voor een gepupiniseerde kabel. Vervangt men de continu verdeelde capaciteit door condensatoren, dan verkrijgt men het schema van een laagdoorlatend filter.

$$\nu_1 = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$$

klein zal blijven en dan plotseling sterk zal toenemen. In het verliesvrije geval zou ook de golfweerstand (in de notatie van artikel II moet men hiervoor $Z_\pi'$ nemen) bij de grens-

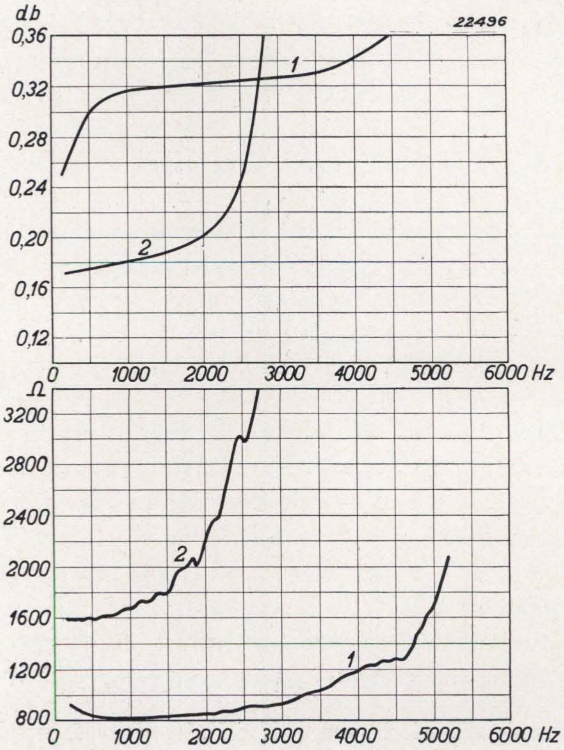


Fig. 4. Demping en golfweerstand van een zwak gepupiniseerde kabel (*1*) en een sterk gepupiniseerde kabel (*2*).
*1* 44 mH met afstanden van 1830 m,
*2* 177 mH met afstanden van 1830 m.

[2]) W. Six. Het gebruik van pupinspoelen in de telefoontechniek, Philips' techn. T. **1**, 357, 1936, verder artikel I genoemd.
Balth. van der Pol en Th. J. Weijers, Electrische filters V, Philips techn. T. **1**, 367, 1936, verder artikel II genoemd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info



frequentie oneindig groot worden en als volgt met de frequentie verloopen:

$$Z = Z_{\pi}' = \frac{\sqrt{L/C}}{\sqrt{1 - \frac{\nu^2}{\nu_1^2}}} .$$

Deze formules voor het laagdoorlatende filter zijn niet zonder meer toepasselijk op de kabel, omdat geen rekening ermede is gehouden, dat de capaciteit continu verdeeld is. Kwalitatief zijn de conclusies echter juist, zooals blijkt uit *fig. 4*, waar de demping en de golfweerstand als functies van de frequentie zijn uitgezet voor een kabel met zwakke en een kabel met sterke pupiniseering. In de buurt van de grensfrequentie is de waarde van de golfweerstand zeer gevoelig voor kleine veranderingen van de zelfinducties en de afstanden der Pupinspoelen en vertoont, indien deze niet volkomen regelmatig zijn, een oscilleerend verloop; en het is moeilijk, de balansschakeling in dit frequentiegebied in evenwicht te houden.

Is het evenwicht van de brugschakeling voor een bepaalde frequentie niet volkomen, dan geeft deze schakeling wel een zekere demping, maar er gaat toch een deel van het signaal, dat afkomstig is van de éénе versterker, terug naar de ingang van de andere. Hierdoor is dus de versterking gelimiteerd, want in de totale kring van de beide versterkers en de beide balansschakelingen moet een zekere demping aanwezig zijn, welke grooter moet zijn dan de totale versterking in die kring; was dit niet het geval, dan zouden de versterkers gaan genereeren.

Indien de versterking van $V_1$ en $V_2$ bijv. ieder 20 db is, dan moet de demping in de balansschakeling voor alle frequenties grooter zijn dan 20 db. Zooals boven reeds werd opgemerkt, is dit bezwaarlijk te bereiken in de buurt van de grensfrequentie van de kabel. Daarom wordt vóór de versterkers $V_1$ en $V_2$ een filter geschakeld, dat de frequenties boven het gebied, dat voor een goede telefoonverbinding noodig is, sterk dempt. Voor de frequenties boven dit gebied is de versterking dus veel geringer en mag de demping van de balansschakeling dus ook veel geringer zijn.

Een belangrijk punt bij tweedraads versterkers is verder de ingangsimpedantie, d.w.z. de impedantie tusschen de punten *a* en *d*. Deze moet namelijk zoo nauwkeurig mogelijk gelijk zijn aan de impedantie van de lijn. Hoe grooter de ongelijkheid tusschen deze beide impedanties is, des te grooter is ook het aandeel van het aankomend signaal, dat gereflecteerd zal worden en terugkeeren naar de vorige versterker, waardoor zijn stabiliteit verminderd wordt. Wij kunnen nl. ook zeggen, dat de impedantie van de lijn, gezien vanaf de punten *a* - *d* afhankelijk is van de afsluiting van de lijn aan de voorafgaande versterker en dat dus de balansschakeling alleen in evenwicht is, indien de lijn daar is afgesloten met zijn golfweerstand. Noemen wij de golfweerstand van de lijn $Z$ en de ingangsimpedantie van de versterker $W$, dan is de reflexiefactor

$$F = \frac{Z - W}{Z + W}\ ^{3)}.$$

Behalve de ingangsimpedantie moet, zooals hierboven reeds is uiteengezet, ook de impedantie van de kabelnabootsing gelijk zijn aan $Z$. In *fig. 5* is

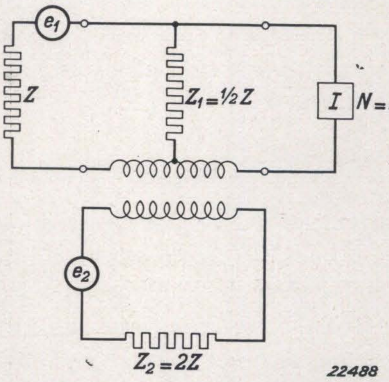


Fig. 5. Bij deze keuze van de impedanties in de balansschakeling is niet alleen de brug in evenwicht, maar is ook de lijn met haar golfweerstand $Z$ afgesloten.

schematisch aangegeven, op welke wijze aan deze beide voorwaarden kan worden voldaan. Daarin is $Z$ de golfweerstand van de lijn, $Z_1$ de ingangsimpedantie van de versterker, $Z_2$ de uitgangsimpedantie van de andere versterker en $N$ de kabelnabootsing; verder is $e_1$ de spanning op de lijn en $e_2$ de generatorspanning van de lamp. Is nu de impedantie van $N = Z$, dan zal de spanning $e_2$ geen stroom geven in de tak $Z$, omdat de brug in evenwicht is. Voor het geval, dat $Z_1 = {}^1/_2\, Z$ en $Z_2 = 2\, Z$, en een windingsverhouding 1 van de uitgangstransformator berekent men, dat de spanning $e_1$ geen stroom in de tak $N$ opwekt en dat de afsluitimpedantie van de lijn gelijk is aan $Z$.

Bij de vierdraadsverbindingen staat de zaak eenigszins anders. Natuurlijk moet ook hier een zekere demping aanwezig zijn in de kring, welke gevormd wordt door de versterkers, de lijnen en de balansschakelingen. Deze bevat echter ook de demping van de telefoonlijnen in het circuit. Maken wij nu de versterking zoo groot, dat de spanning aan het einde iets lager is dan aan het begin, dan kan er geen sprake zijn van genereeren, zelfs als er geen balansschakeling wordt toegepast. In dat geval zou echter het signaal weer aan het begin van de

[3]) Een kabel met een golfweerstand $Z$ kan electrisch worden vervangen door een spanningsbron met een impedantie $Z$ in serie. Denken wij ons een spanningsbron $e$ met inwendige impedantie $Z$ en gesloten over een impedantie $W$, dan is de spanning op $W$ gelijk $eW/(Z+W)$. Indien nu $Z = W$ dan wordt de spanning ${}^1/_2 e$. Wij kunnen het dus ook zoo voorstellen, alsof de gereflecteerde spanning gelijk is aan ${}^1/_2 e\ [1 - 2\ W/(Z+W)] = {}^1/_2 e\ (Z-W)/(Z+W)$.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info



lijn terugkomen, hetgeen aanleiding zou geven tot zg. echo-verschijnselen. Daarom worden ook hier balansschakelingen toegepast, waarbij echter de kabelimpedantie veel minder nauwkeurig behoeft te worden nagebootst dan bij tweedraadsverbindingen.

De limiteering van de versterking per versterkerstation wordt hier gevormd door het overspreken [4]) van de lijn naar een andere en door het storingsniveau. In de praktijk is de te bereiken versterking bij de tweedraads-versterker 12 - 15 db en bij een vierdraads-versterker 30 - 40 db.

## Frequentiekarakteristiek van de versterkers

In het algemeen zal er naar gestreefd worden, de versterking voor alle frequenties gelijk te maken aan de demping van de lijn voor die frequentie, echter met dien verstande, dat voor telefoonverbindingen een frequentieband van 300 - 2500 Hz voldoende wordt geacht. Voor gepupiniseerde lijnen neemt de demping voor de hoogere frequenties vooral in de buurt van de grensfrequentie sterk toe. Bij een sterk gepupiniseerde lijn, d.i. een lijn met spoelen met groote zelfinducties op korte afstanden, is de demping in het spraakgebied gemiddeld kleiner, maar ligt ook de grensfrequentie lager, terwijl bij zwak gepupiniseerde lijnen de demping grooter is, maar ook de grensfrequentie hooger ligt.

Bij sterk gepupiniseerde lijnen is het daarom noodzakelijk, tusschen de lijn en de versterker of in de versterker een netwerk aan te brengen, waardoor vooral het oploopen van de demping in de buurt van de grensfrequentie wordt gecorrigeerd en bovendien een kleine correctie wordt aangebracht voor het afvallen van de demping bij lage frequenties. Bij zwak gepupiniseerde lijnen is dit procédé, dat men egalisatie noemt, niet noodig.

Over de keuze van het versterkersysteem (tweedraads- of vierdraads-, zwakke of sterke pupiniseering) heerscht in de verschillende landen nogal verschil van opvatting. In Nederland is in de laatste jaren algemeen een systeem ingevoerd met vierdraads-versterkers en zwakke pupiniseering [5]). Weliswaar is voor het vierdraads-systeem het dubbele aantal geleiders noodig, maar omdat wij hierbij een belangrijk grootere versterking kunnen toepassen dan bij het tweedraads-systeem, kan, bij een gelijk aantal versterkers, een belangrijk grootere demping in de kabel worden toegelaten en kan dus met een kleinere koperdoorsnede worden volstaan. Bovendien zijn, zooals wij hierboven reeds hebben uiteengezet, de vierdraadsversterkers belangrijk eenvoudiger van constructie, omdat hierbij de balansschakelingen met kabelnabootsingen alleen in de eindstations voorkomen en dan nog aan minder hooge eischen behoeven te voldoen, terwijl verder de afsnijfilters voor de hooge frequenties wel bij de tweedraads-versterkers, doch niet bij de vierdraads-versterkers, noodig zijn.

Het in Nederland toegepaste pupiniseeringssysteem (spoelen van 65 mH op ca. 3,68 km afstand) heeft een grensfrequentie van ruim 3400 Hz, wat voldoende boven het spraakgebied ligt, zoodat correctie voor de demping van de kabel alleen noodig is voor het gebied van 300-800 Hz. De groote onderlinge afstand van de pupiniseeringspunten geeft bovendien een belangrijke besparing op de kosten voor Pupinspoelen.

## Tegenkoppeling

De tegenkoppeling of negatieve terugkoppeling is een reeds sedert lang in de versterkertechniek bekend principe. Hieronder wordt verstaan een schakeling, waarbij een gedeelte van de uitgangsspanning in tegenphase naar de ingang van de versterker wordt teruggevoerd [6]). Door deze schakeling wordt natuurlijk de versterking verminderd, maar het voordeel is, dat daarmee gelijktijdig de vervorming afneemt en de versterking meer constant wordt, d.w.z. minder afhankelijk van de eigenschappen van de versterkerlamp en van de voedingsspanningen. Sedert eenige jaren wordt de tegenkoppeling algemeen toegepast in de versterkers voor draaggolftelefonie, waarbij een zeer geringe vervorming noodzakelijk is, met het oog op intermodulatie tusschen de verschillende kanalen. Door de Nederlandsche P.T.T. is deze schakeling voor het eerst in toepassing gebracht in lijnversterkers voor laagfrequent-telefonie [7]). Daarbij is het voordeel niet zoozeer gelegen in het feit, dat de vervorming klein is dan wel in constantheid van de versterking. De vermindering van de versterking, welke steeds met tegenkoppeling gepaard gaat, is daarbij geen nadeel, omdat door gebruik te maken

[4]) Voor iedere lijnsectie tusschen twee versterkers geldt, dat het niveau aan de uitgangszijde van de eene versterker veel hooger is dan dat aan de ingangszijde van de andere versterker; dit niveau verschil komt overeen met de versterking van een versterker. Voor lijnen van tegengestelde spreekrichting ligt dus een hoog niveau op de eene lijn naast een laag niveau op de andere; het overspreken zal dus des te grooter zijn, naarmate het genoemde niveauverschil, m.a.w. de versterking grooter is.

[5]) A New Telephone System in Holland, by A. H. de Voogt, Post Office Electr. Engin-Journ. **25**, 195, 1932/33.

[6]) Zie C. J. van Loon, Verbeteringen aan radio-ontvangtoestellen, Philips techn. T. **1**, 264, 1936.

[7]) A New Feed-back Repeater by G. H. Bast and E. H. Stieltjes, Post Office Electr. Engin-Journ. **28**, 225, 1935/36.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



van een lamp met groote effectieve versterking (penthode), toch ruim dezelfde versterking bereikt kan worden als vroeger met een triode.

## Beschrijving van een drietal typen van lijnversterkers

In het Philips Laboratorium werden drie verschillende typen van lijnversterkers ontwikkeld. Alle versterkers zijn ontworpen voor gebruik van lampen met indirect verhitte kathode. Dit geeft een belangrijke vereenvoudiging in de schakeling vergeleken met de tot dusver gevolgde praktijk, waarbij gebruik gemaakt werd van trioden met direct verhitte gloeidraden en waarbij steeds de gloeidraden van vier lampen in serie werden geschakeld. Hierbij was een afzonderlijke batterij voor de negatieve roosterspanning noodig, terwijl vrij gecompliceerde schakelingen moesten worden toegepast om de versterkers onderling te ontkoppelen, teneinde overspreken te voorkomen. Tengevolge van de vereenvoudigde schakeling kon een zeer compacte bouw van de versterkerpaneelen verkregen worden. De versterker kan geheel uit het wisselstroomnet worden gevoed.

I) De eerste versterker, welke ontwikkeld werd, was een vierdraadsversterker met triode zonder tegenkoppeling. In *fig. 6* is een versterkerpaneel afgebeeld, hetwelk vier van dergelijke versterkers bevat.

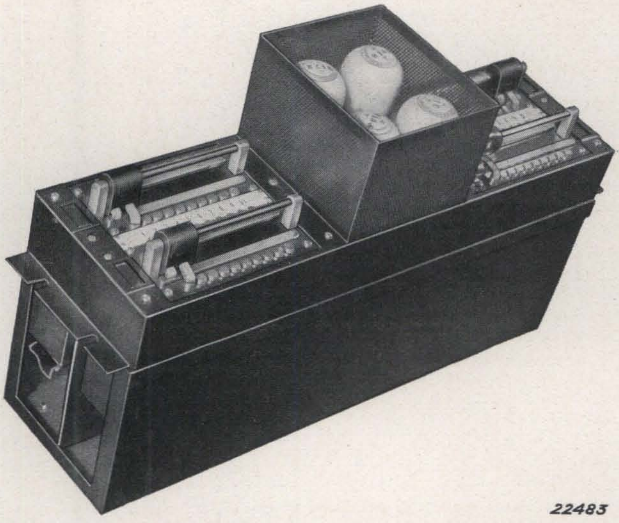


Fig. 6. Versterkerpaneel met vier vierdraadsversterkers met trioden.

II) Het principeschema van de vierdraadslijnversterker met tegenkoppeling is gegeven in *fig. 7*. In deze versterker wordt als versterkerlamp een penthode gebruikt. De tegengekoppelde spanning wordt afgenomen van de regelbare weerstand *R*. Deze spanning hangt af van de grootte van de weerstand, waardoor dus de versterking regelbaar is. De karakteristiek van de versterker is van 300 - 4000 Hz vlak binnen 2 db, zie *fig. 8*. Teneinde een goede aanpassing aan de lijn te verkrijgen, zijn de ingangs- en uitgangs-transformator

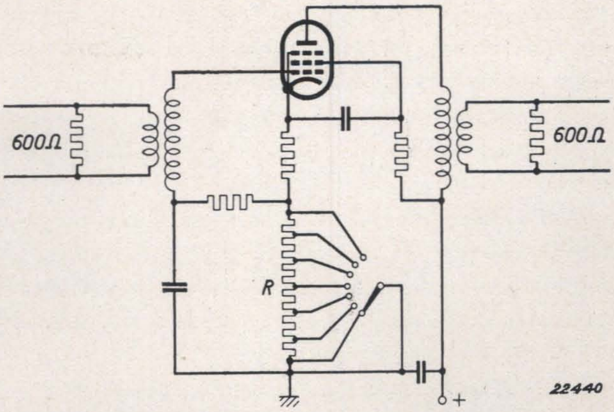


Fig. 7. Principeschema van Philips' vierdraadsversterker met penthode en tegenkoppeling.

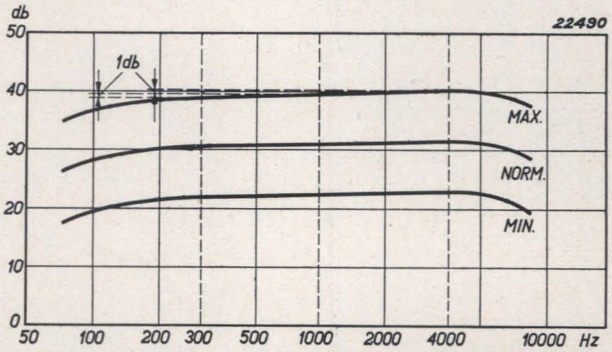


Fig. 8. Versterking van de vierdraadsversterker met tegenkoppeling als functie van de frequentie. De tegenkoppeling is regelbaar (zie fig. 7). De krommen gelden van boven naar beneden voor minimale, gemiddelde en maximale tegenkoppeling.

afgesloten met weerstanden, welke even groot zijn als de golfweerstand van de telefoonlijnen, nl. 600 ohm. Exact beschouwd moet men bereiken, dat de afsluitweerstand met de parallel daarop aangesloten ingangs- resp. uitgangsimpedantie van de versterker samen, gelijk aan de golfweerstand is. De ingangs- en uitgangs-impedanties zijn hier echter veel grooter dan 600 ohm en hierdoor practisch zonder invloed.

In *fig. 9* is de distorsie van de versterker weer-

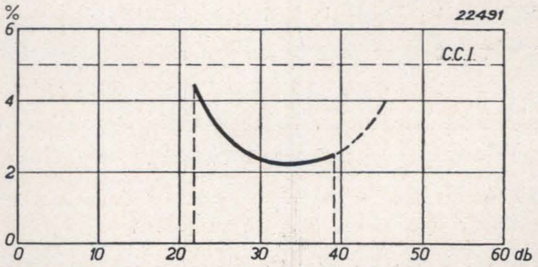


Fig. 9. Distorsie van de tegengekoppelde lijnversterker als functie van de versterking bij een afgegeven vermogen van 50 mW.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



gegeven, bij een afgegeven vermogen van 50 mW, als functie van de versterking. Deze distorsie ligt over het geheele bereik beneden de grens, welke toegelaten is in de voorschriften van het Comité Consultatif International des lignes téléphoniques à grande distance (C.C.I.).

Het belangrijke voordeel van een dergelijke versterker boven de hiervoor beschreven versterker met triode ligt in de grootere onafhankelijkheid van de voedingsspanningen, zooals uit *fig. 10*

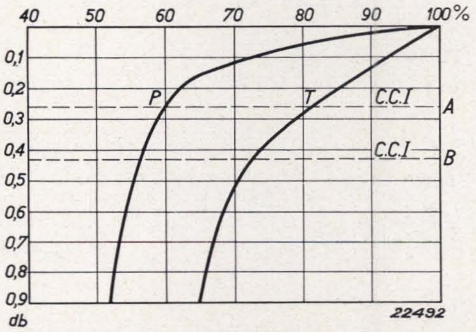


Fig. 10. Versterking in db beneden de normale waarde als functie van de gloei- en anodespanningen in procenten van de normale waarde. *T* triodeversterker zonder tegenkoppeling. *P* penthodeversterker met tegenkoppeling. *A*: C.C.I. grenzen voor lijnen met meer dan 12 versterkers. *B*: C.C.I. grenzen voor lijnen met 12 of minder dan 12 versterkers.

zichtbaar is. Daaruit blijkt namelijk, dat de penthode-versterker met tegenkoppeling bij een daling van de anode- en gloeispanningen tot 60 % nog voldoet aan de C.C.I. voorschriften voor lijnen met meer dan 12 versterkers, terwijl bij de triodeversterker de spanning slechts tot 82 % mag dalen om nog aan die eischen te voldoen.

III). In *fig. 11* is het principeschema van een tweedraadsversterker met tegenkoppeling. weergegeven. Bij deze versterker is een gecombineerde stroom- en spanningstegenkoppeling toegepast, d.w.z. de tegenkoppelspanning bestaat uit twee deelen; het eerste deel wordt afgenomen van de weerstand *R* en is dus evenredig met de afgegeven stroom, en het tweede deel wordt afgenomen van de potentiometer *P* en is dus evenredig met de uitgangsspanning. Door de stroomtegenkoppeling wordt de inwendige weerstand van de versterker verhoogd en door de spanningstegenkoppeling verlaagd [8]). Door een geschikte combinatie van deze beide is het mogelijk aan de versterker de gewenschte inwendige weerstand te geven en tegelijkertijd de gewenschte graad van tegenkoppeling te bereiken. Bij deze versterker is de inwendige weerstand gelijk gemaakt aan de lijnimpedantie, zoodat de afsluiting van de uitgangstransformator met 600 ohm, zooals bij de vierdraadsversterker is gedaan, hier niet noodig is. Bij de vierdraadsversterker ging de helft van de uitgangsenergie in de afsluitweerstand verloren, terwijl bij deze tweedraadsversterker de volle uitgangsenergie nuttig gebruikt kan worden.

In *fig. 12* is de impedantie (grootte $|Z|$ en phasehoek $\varphi$) van deze versterker uitgezet tegen de frequentie. De gestippelde lijn in deze figuur geeft de golfweerstand van de kabel weer, waarvoor de

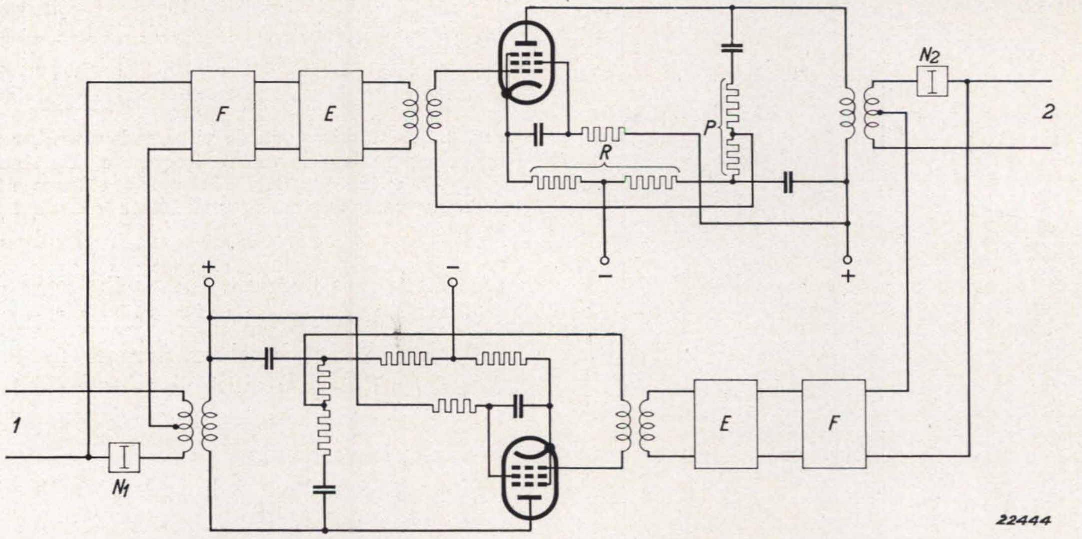


Fig. 11. Principeschema van Philips' tweedraadsversterker met penthoden en tegenkoppeling. $N_1$, $N_2$ kabelnabootsingen, *E* egalisatie, F filters.

[8]) Het principe van de tegenkoppeling berust hierop, dat de spannungsvariaties, welke aan een of ander schakelelement aan de uitgangszijde van een lamp optreden, zoo teruggevoerd worden naar de ingangszijde, dat als uitwerking hiervan de genoemde spanningsvariaties worden verkleind. Kiest men het schakelelement dusdanig, dat de spanning daaraan evenredig is met de uitgangsspanning, dan zal een verandering van de uitgangsspanning, bijv. door veranderen van de uitwendig aangesloten belastingsweerstand, verkleind worden; d.w.z. de inwendige weerstand wordt kleiner. Maakt men de tegengekoppelde spanning evenredig met de uitgangsstroom, dan wordt deze stroom minder afhankelijk van de belastingsweerstand; de inwendige weerstand wordt hooger.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



versterker is geconstrueerd (aderdiameter 1,3 mm, Pupinspoelen van 177 mH op 1830 m afstand).

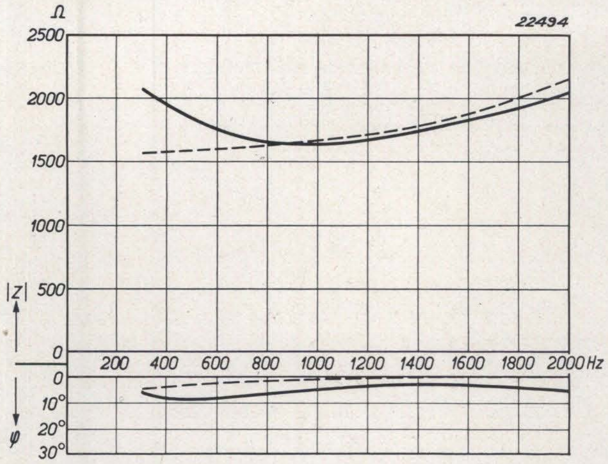


Fig. 12. Getrokken lijn: Impedantie van de tweedraadsversterker (grootte $|Z|$ en phasehoek $\varphi$). Gestippelde lijn: Golfweerstand van een kabel met een aderdiameter van 1,3 mm en spoelen van 177 mH op afstanden van 1830 m.

In *fig. 13* is de reflexie-coëfficient $F = \frac{Z-W}{Z+W}$ uitgezet als functie van de frequentie. Deze reflexie coëfficient ligt over het geheele frequentiegebied belangrijk beneden de grens, die door de C.C.I. toegelaten is.

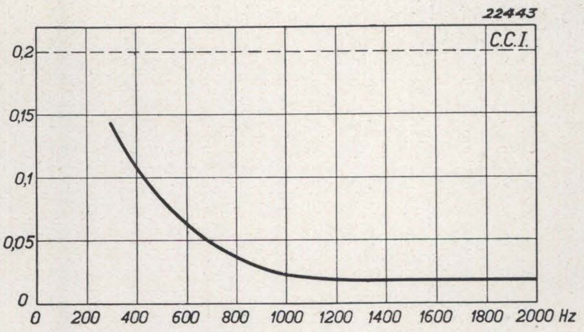


Fig. 13. Reflexie-coëfficient van de tweedraads versterker als functie van de frequentie bij gebruik van de kabel, waarvoor de versterker is geconstrueerd.

*Fig. 14* geeft de frequentiekarakteristiek van deze versterker. De lijn *1* is de karakteristiek van de versterker met afsnijfilter voor de hooge frequenties. Lijn *2* is de demping van de kabel, terwijl de lijn *3*

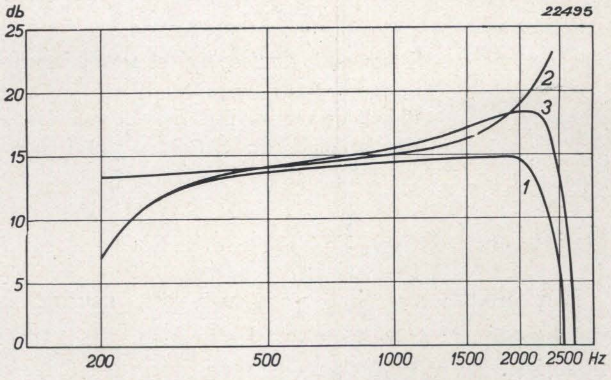


Fig. 14. Versterking van de tweedraadsversterker met penthoden als functie van de frequentie. *1:* versterker met afsnijfilter voor hooge frequenties; *2*: demping van de bijbehoorende kabel; *3*: versterker, gecorrigeerd met een netwerk voor egalisatie.

voorstelt de karakteristiek van de versterker met toepassing van egalisatie, teneinde het toenemen van de demping in de nabijheid van de grensfrequentie van de kabel te compenseeren.

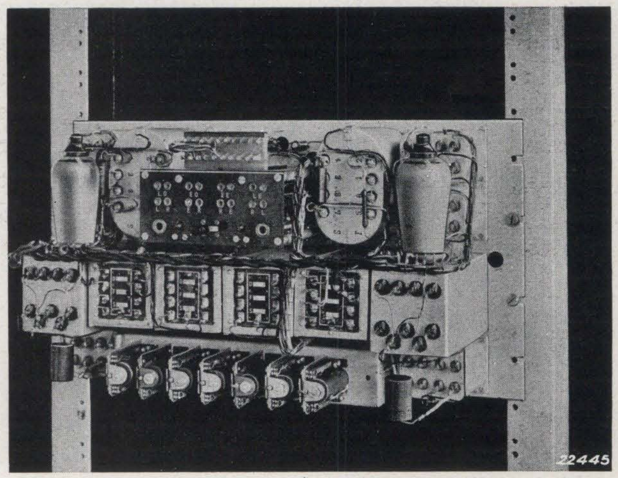


Fig. 15. Model van Philips' tweedraadsversterker met penthoden en tegenkoppeling.

Tenslotte is in *fig. 15* een model van een dergelijke versterker afgebeeld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



# EEN GEVOELIGE REGISTREERENDE VELDMETER

door M. ZIEGLER.

**Samenvatting.** Een toestel wordt beschreven, waarmede de veldsterkten van zenders met golflengten tusschen 10 en 2000 m gemeten kunnen worden. De gevoeligheid wordt tijdens de meting met behulp van een ingebouwde oscillator in absolute maat geijkt. Het is mogelijk veldsterkten vanaf ongeveer 1 $\mu$V/m te meten

## Inleiding

Het meten van het veld van een zender is tegenwoordig een normale taak voor de radiotechniek. Men kan vragen naar het uitgestraald vermogen van een zender ter bepaling van het rendement van de zendantenne, naar de verdeeling van het veld van een omroepzender over het land, naar de graad van storing op een bepaalde plaats, veroorzaakt door een storend station of een stralend toestel, men kan vragen naar het richteffect van een zendantennesysteem, naar de absolute waarde van veldmaxima en minima tengevolge van fading: in al deze gevallen en talrijke andere is een veldmeter onontbeerlijk. Het doel van veldmetingen kan van zuiver wetenschappelijke aard zijn, veelal echter zullen metingen als de genoemde in de eerste plaats van groot technisch belang zijn. Practische gegevens over de straling van een zeker type antenne en over de invloed van het geologische en geografische aspect van de bodem op de voortplanting zijn bijvoorbeeld onontbeerlijk voor het ontwerpen en het bepalen van de meest economische en de meest doeltreffende plaats voor een omroepzender.

De verscheidenheid der opgaven, welke een veldmeting met zich meebrengt, is zeer groot en de eischen, zoowel de practische als de technische eischen, waaraan de gebruikte apparatuur moet voldoen, zijn zeer uiteenloopend. Nu eens moeten de zeer zwakke velden gemeten worden van veraf gelegen zenders, dan weer geschiedt de meting vlak bij de zendantenne; de eene keer zal het noodig zijn de geheele apparatuur te brengen naar plaatsen in het vrije veld, waar voertuigen niet heen kunnen komen, een andere keer is de meetopstelling een vaste opstelling, welke weken lang in bedrijf blijft op dezelfde plaats voor de bepaling van variaties van het veld met de tijd; ook zal nu eens op lange golf, dan weer op ultra korte golf gemeten moeten worden enz.

Met het apparaat, dat wij willen beschrijven, kunnen alle practisch voorkomende metingen direct worden uitgevoerd. Alvorens een beschrijving ervan te geven, willen wij in het kort het principe van de veldmeter uiteenzetten.

## Principe van de Veldmeter

Een veldmeter bestaat uit een antenne, waarin het zenderveld een zekere EMK opwekt en een voltmeter om deze EMK te meten.

Van de antenne interesseert ons hier in het bijzonder de zg. effectieve hoogte. Deze wordt aldus gedefinieerd: is de electrische veldsterkte in een golf $e = E \sin \omega t$, dan wordt daardoor in een antenne met een effectieve hoogte van $h$ meter een EMK

$$V = h\,e \quad \cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

opgewekt. Wordt $V$ door meting bepaald en weet men de effectieve hoogte, dan volgt daaruit het veld. De effectieve hoogte van een verticale antenne met groote topcapaciteit (zie *fig. 1a*) waarvan de lengte $l$ klein is t.o.v. de golflengte, is voor een verticaal gerichte electrische vector gelijk aan $l$: de door de golf geinduceerde EMK is juist $V = l\,e$.

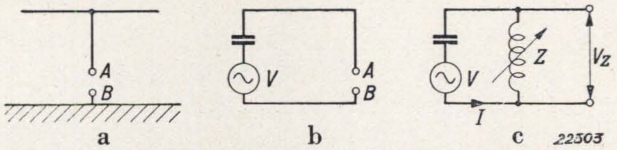


Fig. 1. a. Verticale antenne met groote topcapaciteit (capacitieve antenne). Een verticaal electrisch veld wekt een spanning $V$ op, gelijk aan het product van veld en antennelengte.
b. Vervangingsschema van de capacitieve antenne. De opgewekte EMK kan men zich in serie met de antennecapaciteit voorstellen.
c. Door een zelfinductie $Z$ in serie met de antenne te schakelen kan men een op het ontvangen signaal afgestemde kring vormen. In resonantie kan de spanning $V_Z$ vele malen $V$ bedragen.

Volgens bovenstaande definitie kan men ook bij een raamantenne van een effectieve hoogte spreken. De effectieve hoogte van een raam (platte spoel zie *fig. 2a*) van $n$ windingen, elk omvattende een oppervlak $O$, en waarvan de afmetingen klein zijn t.o.v. de golflengte, is

$$h = \frac{2\pi n O}{\lambda} \sin \alpha, \quad \cdots\cdots \quad (2)$$

waarin $\alpha$ voorstelt de hoek tusschen het raamvlak en de magnetische vector; een raamantenne heeft richteffect. Heeft men bijv. een voor een draagbare

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized by www.freeservicemanuals.info
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



veldmeter geschikt raam van 16 windingen van $0,4 \times 0,4 = 0,16$ m² oppervlak, dan is bij $\lambda = 300$ m, voor $\alpha = 90°$, $h = 0,054$ m. Dit is dus veel minder dan de effectieve hoogte van een verticale antenne van eenige meters.

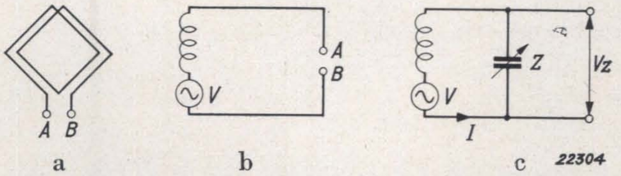


Fig. 2. a) Raamantenne (inductieve antenne). Een magnetisch veld van de sterkte 1, dat loodrecht staat op het raamvlak, induceert een spanning $V = \frac{2\pi n O}{\lambda}$ ($n$ = aantal windingen, $O$ = oppervlak, $\lambda$ = golflengte).
b) Vervangingsschema van de inductieve antenne. De opgewekte EMK kan men zich in serie met de zelfinductie van het raam voorstellen.
c) Door een capaciteit $Z$ in serie te schakelen met het raam kan men een op het ontvangen signaal afgestemde kring vormen. In resonantie kan de spanning $V_Z$ vele malen $V$ bedragen.

Het vervangingsschema van de capacitieve antenne resp. raamantenne, met de voorstelling van de geinduceerde EMK is gegeven in fig. 1*b* resp. 2*b*.

Het is onze taak, de in fig. 1*b* en 2*b* geteekende spanning $V$ te meten. Te bereiken zijn slechts de klemmen $A$ en $B$. Men zou in principe er mee kunnen volstaan de spanning tusschen $A$ en $B$ te meten met een voltmeter, waarvan de impedantie groot is t.o.v. de reactantie van antenne of raam. Ofschoon het niet essentieel noodig is, zal men hier echter steeds het resonantieprincipe toepassen en door serieschakeling van een zelfinductie, resp. capaciteit een op het te meten signaal afgestemde kring vormen, waarvan de selectieve en versterkende eigenschappen van groot voordeel zijn (fig. 1*c* en 2*c*). Men kan nu de stroom $I$ meten, die door de kring vloeit of de spanning $V_Z$ op de in serie geschakelde impedantie. Bepaalt men bovendien de kringweerstand dan kan men $V$ direct berekenen. Immers

$$V = Ir = V_Z \frac{r}{Z}.$$

## Met welke soort antenne wordt de veldmeter uitgerust?

Wij stellen aan de antenne van de veldmeter de eisch, dat zij een goed gedefinieerde, berekenbare effectieve hoogte heeft en tevens draagbaar is. Een raamantenne kan men zonder meer aan deze eischen laten voldoen; een capacitieve antenne neemt dan echter een zeer ongunstige vorm aan, nl. die van een korte verticale staaf, welke aan de top een horizontale plaat heeft, waarvan de capaciteit tegen de aarde groot is vergeleken met die tusschen aarde en staaf. Men zou dus kunnen spreken van een condensatorantenne (zie *fig. 3*). De effectieve hoogte

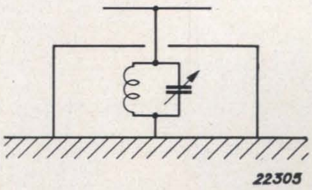


Fig. 3. Een korte verticale staaf, waaraan bevestigd een vlakke horizontale plaat, is een voorbeeld van een goed gedefinieerde verplaatsbare capacitieve antenne. De effectieve hoogte is gelijk aan de afstand tusschen de plaat en de bovenkant van de metalen kast waarin de meetapparatuur gemonteerd kan zijn.

van zulk een antenne kan niet gemakkelijk tot waarden opgevoerd worden, welke aanzienlijk grooter zijn dan die van een normaal raam.

Een verder bezwaar van de capacitieve antenne is, dat men haar niet zoo gemakkelijk kan afstemmen als een raam. Hiertoe zou men namelijk een variabele zelfinductie noodig hebben, (zie fig. 1*c*), hetgeen niet steeds is uit te voeren. Met de meer normale schakeling van fig. 3 is de opslingering van de door het veld opgewekte spanning veel kleiner dan die welke bij een raamantenne bereikbaar is. Daar een raamantenne bovendien in tegenstelling tot de capacitieve antenne richteffect heeft, hetgeen in het algemeen een voordeel is, is zij als standaard te verkiezen boven een condensatorantenne.

Wanneer het evenwel van belang is, voor het meten van zeer zwakke signalen, een antenne met groote effectieve hoogte te gebruiken, wanneer het richteffect gemist kan worden of zelfs ongewenscht is, dan is men op een of andere capacitieve antenne aangewezen. Een willekeurig antennesysteem (met onbekende effectieve hoogte), op een willekeurige wijze gekoppeld aan een versterker met aanwijzend instrument (bijv. een in een auto gemonteerde antenne) kan steeds in zijn geheel worden geijkt:

1e. Door vergelijken met een standaard opstelling.
2e. Door meten van het theoretisch bekende veld van een goed gedefinieerde proefzender.

## Belangrijke eischen, die wij aan onze veldmeter stellen

Aan een veldmeter zijn de volgende eischen te stellen:

a) groote gevoeligheid om zwakke signalen te kunnen meten,
b) groote selectiviteit om die zwakke signalen ook te kunnen meten, ondanks sterkere zenders van naburige frequenties.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



c) **constantheid**: men moet van die constantheid verzekerd zijn, zonder herhaalde ijkingen in het laboratorium.

Om aan de eischen a) en b) te voldoen wordt gebruik gemaakt van een gevoelige versterker, bestaande uit achter elkaar geschakelde versterkerbuizen en afgestemde kringen, waarmee de opgewekte spanning voor de meting wordt versterkt.

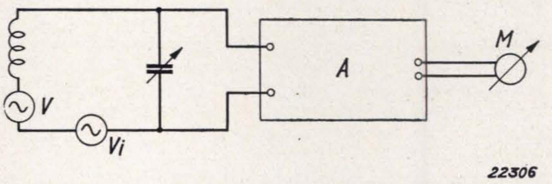


Fig. 4. Principe van de veldmeter. De in het raam geinduceerde spanning $V$ wordt vergeleken met een ijkspanning $V_i$. Om kleine spanningen te kunnen meten wordt de spanning, welke tengevolge van $V$ resp. $V_i$ op de condensator ontstaat, versterkt met de versterker $A$.

Aan de eisch van **constantheid** over lange tijd kon dan echter niet zonder meer voldaan worden: de gevoeligheid varieert met de ouderdom der versterkerbuizen, is sterk afhankelijk van de juiste afstemming enz. Om deze reden werd het apparaat voorzien van een inrichting, waarmee de gevoeligheid op elk oogenblik op de juiste waarde ingesteld kan worden.

De contrôle van de gevoeligheid geschiedt op de handigste wijze door de invloed van een **bekende** EMK na te gaan, die dezelfde frequentie heeft als het te meten veld en zooals in *fig. 4* is aangeduid, in serie met het raam wordt geschakeld. Op deze wijze immers wordt niet alleen de gevoeligheid van de voltmeter, dit is hier de versterker + aanwijzend instrument, gecontroleerd, doch ook de opslingering, die in de door raam en condensator gevormde resonantiekring optreedt. *De ijkspanning werkt geheel op dezelfde wijze als een geinduceerde EMK van dezelfde grootte* [1]) en geeft dan ook een even groote aanwijzing van de voltmeter. Is de te meten geinduceerde EMK $V$ niet gelijk aan de ijkspanning, dan is ook de aanwijzing van de voltmeter in dezelfde verhouding grooter of kleiner. Door deze vergelijkingsmethode is de betrouwbaarheid van de meting in hoofdzaak afhankelijk gemaakt van de juistheid van de ijkspanning.

**Schema van het apparaat**

Terwijl in fig. 4 het principe van de Philips veldmeter is aangegeven, geeft *fig. 5* een uitgebreider schematisch overzicht van het apparaat.

Aan de hand van dit schema zullen wij nu eerst in het kort nagaan, hoe het te meten signaal de uitslag van het aanwijzend instrument tot stand brengt.

De spanning van frequentie $\nu$, welke op de klemmen van de antennekring op de reeds besproken wijze opgewekt wordt, passeert een selectieve versterkertrap $H$ en wordt dan toegevoerd aan een menglamp $M$. Het middenfrequente signaal van frequentie $\nu_m$, dat ontstaat door samenwerking met de hulpspanning van frequentie $\nu + \nu_m$, gegeven door de oscillator $O_h$, wordt uitgezeefd en passeert een variabele verzwakker $V$, waarover straks meer. Vervolgens wordt het door twee op $\nu_m$ afgestemde trappen $MF$ versterkt en dan gelijkgericht door een diodedetector $D$. De aldus ontstane gelijkspanning wordt toegevoerd aan het rooster van een triode $T_i$, waarvan de anodestroom door een mA-meter vloeit. Deze triode, welke wij indicatorlamp noemen, is zoodanig ingesteld, dat bij afwezigheid van een signaal de anodestroom 5 mA bedraagt. Een gelijkgericht signaal maakt het rooster van de

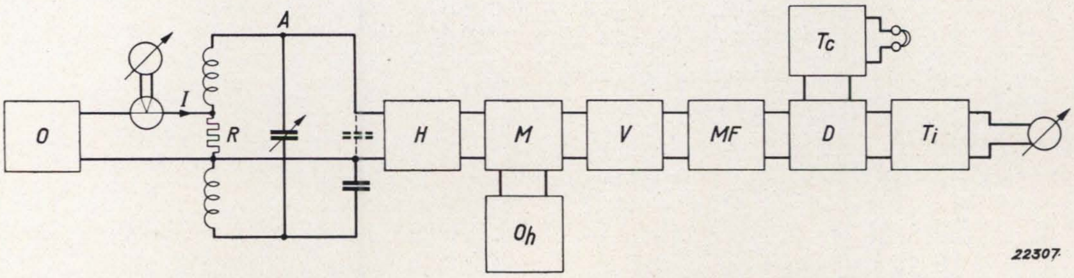


Fig. 5. Schematisch overzicht van de veldmeter. $O$ ijkoscillator, waarmee de ijkspanning $V_i = IR$ verkregen wordt; $A$ antennekring; $H$ hoogfrequentie versterker; $M$ menglamp; $O_h$ heterodyne oscillator; $V$ verzwakker; $MF$ middenfrequentie versterker; $D$ detector. $T_i$ indicator-triode, die de stroom levert voor het aanwijzend instrument. $T_C$ contrôle-triode voor de stroom door de telefoon.

[1]) Dit is niet geheel juist, omdat het raam nooit capaciteitsvrij en de geinduceerde EMK niet op één plaats werkzaam is. De afwijkingen kunnen voor technische metingen echter verwaarloosd worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



triode meer negatief t.o.v. de kathode, zoodat de anodestroom daalt en een verplaatsing van de wijzer veroorzaakt t.o.v. de stand zonder signaal. De totale versterking van het beschouwde signaal moet groot genoeg zijn om een goed afleesbare uitwijking te geven en toch niet zoo groot, dat de anodestroom van de indicatorlamp nul wordt. Voor de juiste instelling dienen, behalve de verzwakker, een regeling van de versterking door de menglamp en beide middelfrequentie lampen.

De verhouding van twee signalen van dezelfde frequentie is, bij onveranderde instelling van het apparaat, direct te zien op de meter. Liggen de signalen meer dan een factor 10 uit elkaar, dan is een nauwkeurige bepaling van hun verhouding niet mogelijk. Met behulp van de verzwakker kan echter de versterking van het eene signaal in een bepaalde verhouding verkleind of vergroot worden t.o.v. de versterking van het andere signaal. De grootste verzwakking is 1000, zoodat spanningen, wier verhouding 3000 is, nog goed met elkaar vergeleken kunnen worden.

Het spreekt vanzelf dat, bij elke mogelijke instelling, de versterking onafhankelijk moet zijn van de amplitude. Zoowel de maximale versterking van elke trap als de wijze waarop die versterking geregeld wordt, is dan ook zoo uitgerekend, dat de meteruitslag maximaal is, voordat een ander deel van het apparaat overbelast kan zijn.

Wij zullen nu enkele onderdeelen van de veldmeter meer in bijzonderheden behandelen.

*Antennekring: Raamantenne.* Indien een raamantenne geschakeld wordt, zooals in fig. 4 was aangegeven, dan is het duidelijk, dat, gezien de capaciteit van het raam en van het apparaat tenopzichte van aarde (zie *fig. 6*), het geheel ook de eigenschappen van een capacitieve antenne heeft,

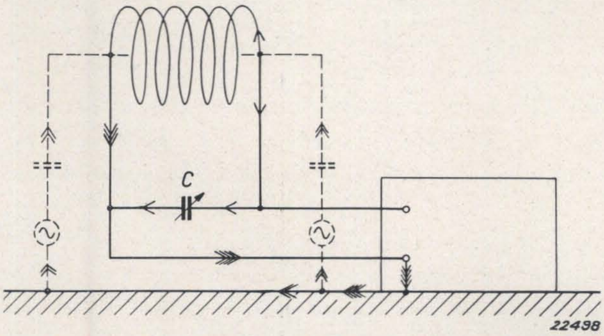


Fig. 6. Asymmetrische raamschakeling. Indien het eene uiteinde van de raamwikkeling geaard wordt, doet het electrisch veld stroomen ontstaan die, onafhankelijk van de orientatie van het raam, een spanning op de klemmen van de versterker veroorzaken. De pijlen duiden de wisselstroomen aan, welke opgewekt worden door het verticale electrische veld tusschen het raam en de aarde. Men ziet, dat deze stroomen gedeeltelijk door de condensator $C$ zullen vloeien, zoodat een wisselspanning aan de ingangsklemmen van de versterker wordt opgewekt.

zoodat er een ander signaal opgewekt wordt, dan uit verg. (2) zou volgen. Dit openbaart zich daardoor, dat het signaal belangrijk van 0 verschilt, ook al staat het raamvlak evenwijdig aan de magnetische vector. Dit bezwaar, het zg. „antenne effect”, is ondervangen door een symmetrische montage van het raam, waarbij de door de capacitieve werking van het raam opgewekte stroomen elkanders werking compenseeren (*fig. 7*).

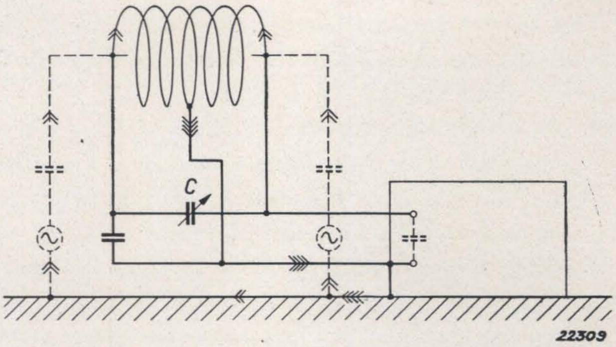


Fig. 7. Symmetrische raamschakeling. Door het midden van de raamwikkeling met aarde te verbinden compenseeren de door het electrisch veld opgewekte stroomen elkanders werking. Door de condensator $C$ vloeit geen stroom.

De afstemming geschiedt met behulp van de variabele condensator $C$. Bij het apparaat behooren een stel uitwisselbare ramen.

*Ontvangst op capacitieve antenne.* Voor ontvangst met capacitieve antenne kunnen in plaats van de draaibare raamhouder, spoelen in het toestel worden gestoken, welke automatisch de noodige contacten maken, zoodat de schakeling wordt als *fig. 8*. Elke

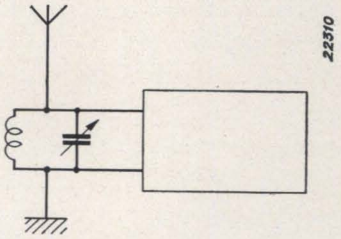


Fig. 8. Schakeling van de antennekring bij gebruik van de veldmeter met capacitieve antenne.

spoel is voorzien van een klem, waaraan de antenne wordt verbonden; het toestel wordt geaard.

*Het ijksignaal.* Als ijkspanning wordt gebruikt de spanning op een weerstand $R$ in fig. 5, waardoor een wisselstroom $I$ van de gewenschte frequentie vloeit, opgewekt door de afzonderlijke oscillator $O$. Zooals in fig. 4 reeds aangeduid, is de ijkspanning in serie met het raam geschakeld. De weerstand heeft een waarde van slechts ca. $^1/_8$ ohm, zoodat $V_i \approx 1$ mV wordt voor $I = 8$ mA. De gevoeligheid van het thermokoppel, dat voor het meten van de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized by www.freeservicemanuals.info
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



stroom dient, en de weerstand $R$ zijn onafhankelijk van de frequentie, dus ook de ijkspanning. De oscillator kan in vijf omschakelbare bereiken alle frequenties geven tusschen 150 en 30 000 kc/sec en is zoo berekend, dat de stroom, die maximaal door het koppel kan vloeien, nooit tot overbelasting van het koppel aanleiding kan geven. Dit komt aan de constantheid van het thermokoppel ten goede en daarmede ook aan de betrouwbaarheid van het apparaat als absoluut meetinstrument.

*De hoogfrequentie versterker.* Het doel van deze versterkertrap, bestaande uit één lamp met afgestemde anodekring is tweeledig:

1e. de hoogfrequentie-selectiviteit te verhoogen ter onderdrukking van signalen van de frequentie $\nu + 2\,\nu_m$, welke een storend middenfrequent signaal zouden kunnen opleveren.

2e. de verhouding van signaal tot geruisch zoo gunstig mogelijk te maken. Dank zij het gebruik van een speciale weinig ruischende hoogfrequentie versterkerbuis spelen alleen thermische electriciteitsfluctuaties in de eerste kring een rol. Zelfs bij gebruik van een kleine raamantenne komt een signaal, geinduceerd door een veld van slechts enkele μV/m, ruimschoots boven het geruisch uit.

*Menglamp en hulposcillator.* Als menglamp dient een menghexode, terwijl een afzonderlijke triode als oscillator is geschakeld, welke evenals de ijkoscillator vijf omschakelbare golflengtegebieden heeft. De afstemcondensator is mechanisch gekoppeld met de condensator van de hoogfrequentietrap, zoodat, voor de afstemming van het apparaat, behalve de antenne condensator, slechts één knop bediend hoeft te worden. De versterking van de menglamp is door variabele negatieve roosterspanning regelbaar.

*Verzwakker.* De verzwakker $V$ is door een tweetal op het middenfrequente signaal afgestemde kringen met de menglamp gekoppeld.

Met een schakelaar kan de verzwakking willekeurig 1, 3, 10, 30, 100, 300 of 1000 voudig gemaakt worden. De verzwakker, welke opgebouwd is uit nauwkeurig geijkte gewikkelde draadweerstanden, is zoodanig ingericht, dat zoowel ingangsweerstand als uitgangsweerstand bij elke stand dezelfde waarde hebben.

Het verzwakte signaal bereikt de eerste middelfrequentie versterkerlamp via twee gekoppelde afgestemde kringen.

*Middelfrequentie versterker.* Deze is voldoende gekenmerkt door de volgende bijzonderheden: twee lampen, vier afgestemde kringen, regelbare versterking door variatie van de negatieve roosterspanning. De roosterspanning van beide lampen kan bovendien automatisch afhankelijk gemaakt worden van het ontvangen signaal, zoodanig, dat groote signalen minder worden versterkt, hetgeen bij de registratie van sterk varieerende velden van belang kan zijn.

*Gelijkrichting.* De versterkte middenfrequente spanning wordt toegevoerd aan beide dioden van een duo-diode-triode. De eene diode dient uitsluitend voor het verkrijgen van de gelijkspanning van de zoo juist genoemde automatische versterkingsregeling; deze spanning kan geheel of gedeeltelijk aan het rooster der middelfrequentie lampen toegevoerd worden. De detectie door de andere diode levert een laagfrequente wisselspanning met een gelijkspanningscomponente. De gelijkspanning wordt toegevoerd aan de reeds beschreven indicatorlamp. De wisselspanning wordt toegevoerd aan het trioderooster der duo-diode-triode; met een koptelefoon in de plaatkring van deze triode opgenomen, kan men naar de ontvangst luisteren.

*Aanwijzend instrument.* De mA-meter met een meetbereik van 5 mA, welke de anodestroom aanwijst, is zoodanig ingericht, dat de wijzer, wanneer de stroom nul is, rechts van de schaal staat. Is de stroom 5 mA, dan staat de wijzer links, op de 0-streep van de schaalverdeeling. Bij afwezigheid van een signaal wordt de anodestroom op de juiste waarde ingesteld door regeling van de spanning tusschen kathode en rooster. De schaalverdeeling is proefondervindelijk zoodanig verdeeld, dat bij constante gevoeligheid, dus afwezigheid van de automatische versterkingsregeling, de aanwijzing van de meter evenredig is met het ontvangen signaal.

Deze schaalverdeeling hangt in hoofdzaak af van de $I_a$-$V_g$-karakteristiek van de triode; het is daarom van belang, dat deze zich steeds in dezelfde condities bevindt. Daarom wordt de anodespanning, met behulp van een neonlamp, automatisch constant gehouden, onafhankelijk van de instelling van het apparaat of van eventueele variaties van de spanningsbronnen. In serie met de ingebouwde mA-meter kan buiten het toestel een andere meter, bijv. een registreerend instrument, aangesloten worden.

In *fig. 9* is de veldmeter met raamantenne en batterijkist weergegeven.

*Variabele selectiviteit.* Hoewel het totale aantal kringen tien bedraagt, is de selectiviteit niet overdreven, daar de acht middelfrequentie kringen twee aan twee als bandfilter zijn geschakeld. De koppeling van twee paar dezer kringen is variabel gemaakt, zoodat men desgewenscht, door los-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



ser te koppelen, de selectiviteit kan vergrooten.

*Voeding*. Het apparaat is ingericht om willekeurig, hetzij op gelijkspanning (batterijen), hetzij op 50 per. wisselspanning (net) te functionneeren.

**Voorbeelden van diverse metingen**

Het gebruik van het toestel laat zich het beste illustreeren door eenige practische voorbeelden.

a) *Het veld van een locale zender*. Een van de belangrijkste toepassingen van de veldmeter is de bepaling van de verdeeling van het veld van een

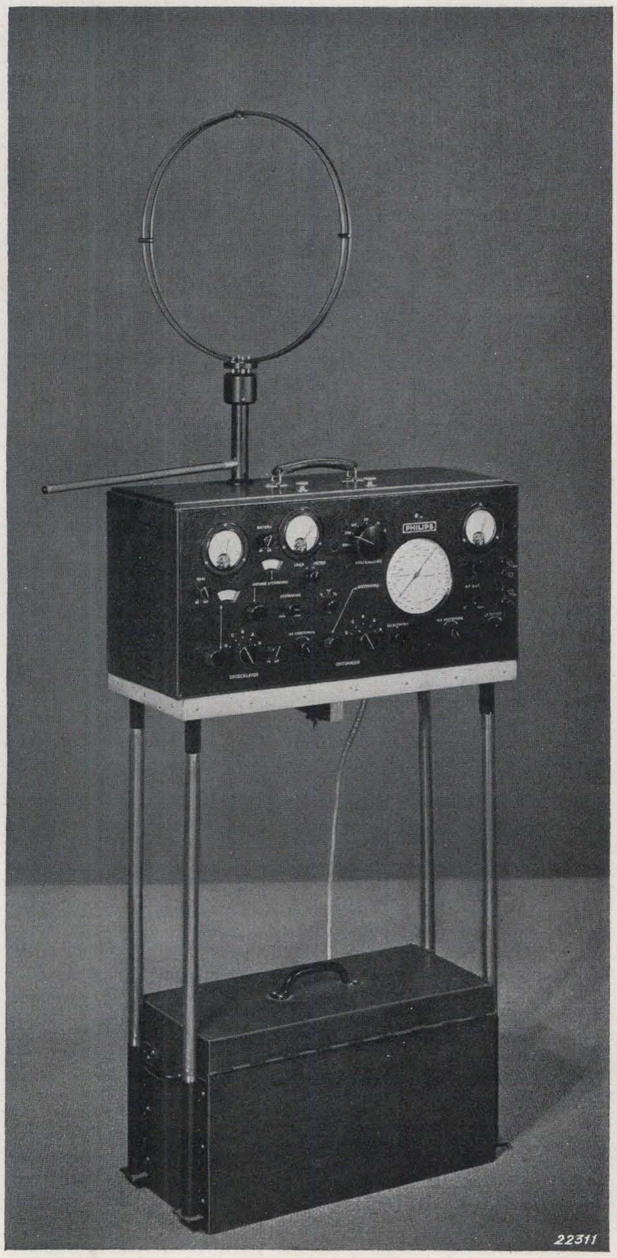

Fig. 9. Philips' veldmeter met zijn batterijkist. Het apparaat is voorzien van een raamantenne voor golven van 28 tot 75 m. Op de frontplaat ziet men links de meter voor de ijkspanning; rechts de meter die de uitgangsstroom aanwijst. De groote ronde afstemschaal is voorzien van de frequentie-ijking voor elk van de vijf frequentiegebieden. Schuin links boven de afstemschaal de knop voor de verzwakker.

omroepzender over het land. Het beschreven toestel is daartoe bijzonder geschikt, omdat het in staat is velden van zeer uiteenloopende waarden te meten.

Stel, dat wij moeten meten het veld van de omroepzender Hilversum (golflengte 300 m, antennevermogen 15 kW) in de omgeving van Muiden.

Zooals reeds eerder is aangegeven, is de effectieve hoogte van de voor deze golflengte beschikbare raamantenne bij die orientatie van het raam, waarbij het signaal maximaal is, 0,054 meter. Bij nauwkeurige afstemming, juiste orientatie van het raam, uitgeschakelde automatische versterkingsregeling en verzwakkerstand bijv. 30, zorgt men door regeling van de versterking, dat de meter 5 aanwijst. Nu wordt het raam in de stand voor minimum signaal gedraaid (er blijft bijv. 1 $^0/_0$ over) en de ijkoscillator wordt ingeschakeld. Na afstemmen en instellen van de stroom door het weerstandje op 8 mA (ijkspanning = 1 mV) blijkt nu, bij overigens onveranderde instelling, dat de meter 6,5 aanwijst, bij verzwakkerstand 10. Hieruit volgt, dat de effectieve waarde van het door het veld van Hilversum geinduceerde signaal bedroeg:

$$V_{\text{eff}} = 1 \cdot \frac{30 \cdot 5}{10 \cdot 6{,}5} = 2{,}3 \text{ mV}.$$

De effectieve waarde van de electrische veldsterkte is dus

$$\frac{V_{\text{eff}}}{h} = \frac{2{,}3}{0{,}054} = 42{,}2 \text{ mV/m}.$$

Wanneer het de bedoeling is het veld in vele plaatsen van het land te meten, kan de veldmeter gemonteerd worden in een auto. Het biedt dan practische voordeelen, in plaats van de raamantenne een verticale staafantenne van 0,5 à 1 m hoogte te monteeren, die geen richteffect heeft en onder het rijden niet verwijderd hoeft te worden. De absolute ijking van de veldmeterauto geschiedt door meting van een met de raamantenne op de boven beschreven wijze bepaalde veldsterkte.

b) *Straling van ontvangtoestellen*. In verband met de mogelijkheid van onderlinge storing van superheterodyne ontvangtoestellen door straling van de hulposcillator was het van belang deze straling zooveel mogelijk tegen te gaan. In een speciaal geval werd de eisch gesteld, dat het stralingsveld van het aan een bepaalde antenne verbonden toestel op 25 m afstand niet grooter was dan 5 $\mu$V/m.

Stel, dat wij bij een golflengte van 30 m willen controleeren of een toestel daaraan voldoet.

Het raam, dat wij voor deze golflengte moeten gebruiken, heeft twee cirkelvormige windingen van 40 cm diameter. De effectieve hoogte, bij optimale

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



orientatie, is 0,0525 m. De straling van het te onderzoeken toestel is zoo gering, dat het ijksignaal veel grooter is dan het geinduceerde signaal, zoodat het raam, voor de ijking, niet in de stand van minmale ontvangst gedraaid hoeft te worden.

Wij stellen de versterking zoo in, dat, met een ijkspanning van 500 μV en 1000 voudige verzwakking de meter 10 aanwijst.

Na uitschakelen van het ijksignaal blijkt het geinduceerde signaal slechts een uitslag 3,1 te signaal, zooals blijkt uit fig. 10. Indien men zeer groote fluctuaties van de veldsterkte verwacht, kan men de versterkingsregeling nog effectiever doen werken dan hier geschiedde.

De bepaling van de relatieve schaal van 0 tot 30 geschiedde met behulp van het constante ijksignaal en de verzwakker door, bij onveranderde instelling van de automatische versterkingsregeling het middenfrequente signaal in de verhouding 1, 3, 10, 30 enz. te varieeren en de uitwijking op

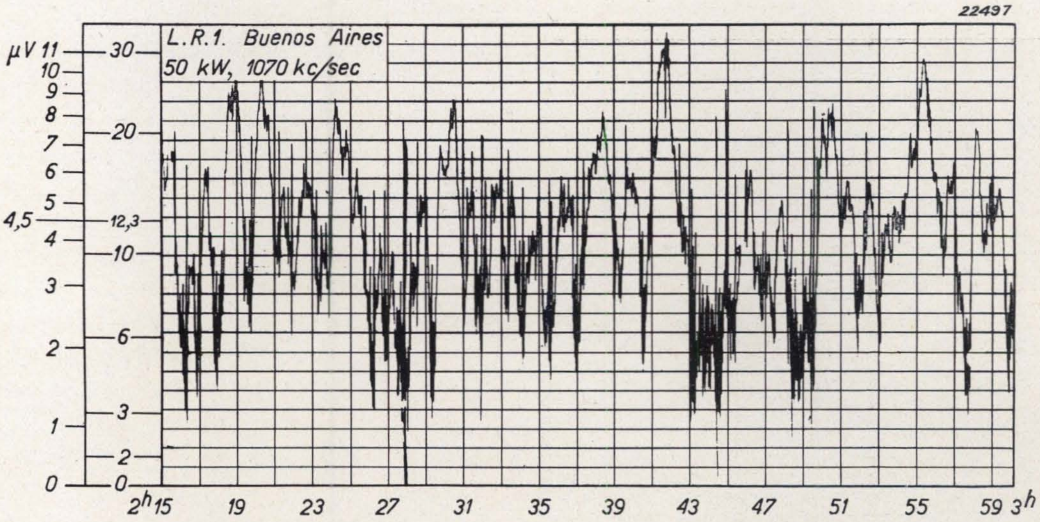


Fig. 10. Oscillogram van het veld van de zender L.R. 1, Buenos Aires, opgenomen te Eindhoven op 15 December 1935. De schaal is opgenomen door aan de verzwakker achtereenvolgens verschillende standen te geven en de uitslagen op te teekenen voor ijksignalen van 1 en 0,5 mV. Een station met een veldsterkte van 450 μV/m en naburige frequentie gaf, bij 100 maal kleinere versterking, dan bij de registratie toegepast werd, de uitslag 12,3 = 4,5 μV/m, waardoor de absolute beteekenis van de schaal is vastgelegd.

veroorzaken bij verzwakkerstand 1. Het signaal is dus:

$$V_{\text{eff}} = 500 \cdot \frac{3{,}1 \cdot 1}{10 \cdot 1000} = 0{,}155\ \mu\text{V}.$$

De effectieve waarde van het veld is dus:

$$E_{\text{eff}} = \frac{0{,}155}{0{,}0525} = 2{,}95\ \mu\text{V/m}.$$

c) *Registratie van het veld van een overzeesche zender.* De transmissie van electromagnetische golven over zeer groote afstanden is in de laatste tijd het object van systematisch onderzoek. *Fig. 10* is een voorbeeld van een oscillogram van het veld van L.R. 1, Buenos Aires, 's nachts opgenomen te Eindhoven.

In dit geval werd gebruik gemaakt van een verticale antenne van 12 m, die wegens het ontbreken van topcapaciteit een effectieve hoogte heeft van 6 m. Het toestel was verbonden met een registreerende mA-meter. De automatische versterkingsregeling was ingeschakeld, zoodat de uitwijking van de meter minder snel toenam dan het ontvangen het oscillogram vast te leggen. De schaalwaarde in μV/m werd bepaald door een station te ontvangen met ongeveer dezelfde frequentie en een constante veldsterkte, die op de onder a) beschreven wijze gemeten was.

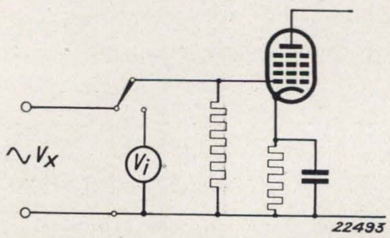


Fig. 11. Ingangsschakeling van het apparaat bij gebruik als voltmeter. De onbekende spanning $V_x$ wordt vergeleken met de spanning $V_i$ van de ijkoscillator.

Indien de ontvangst niet gestoord is, kunnen op deze wijze velden van minder dan 0,1 μV/m worden gemeten. In de weergegeven registratie ligt het niveau van de storingen tusschen 1 en 2 μV/m.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized by www.freeservicemanuals.info

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



**Gebruik van het apparaat als voltmeter**

Wij willen tenslotte wijzen op een zeer belangrijke toepassing van het apparaat, namelijk als *selectieve voltmeter met instelbare gevoeligheid en groote, aperiodische ingangsimpedantie*. Na het uittrekken van raamantenne of antennespoel kunnen rooster en kathode van de eerste lamp, door middel van speciaal daartoe aangebrachte klemmen, verbonden worden met de te meten spanningsbron. Met behulp van een schakelaar kan de te meten spanning $V_x$ vergeleken worden met de ijkspanning $V_i$, zie *fig. 11*. Het is duidelijk, dat aldus sinusvormige wisselspanningen vanaf 1 μV gemeten kunnen worden.

## OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

**No. 1172:** M. J. Druyvesteyn und N. Warmoltz: Ein neuer Dunkelraum in der Nähe einer Glühkathode in einer Bogenentladung (Physica **4**, 51 - 68, Jan. 1937).

Een nieuwe donkere ruimte rondom de oxyde kathode van een boogontlading, die reeds kort werd beschreven in **No. 1117,** wordt in dit artikel uitvoerig besproken. Deze donkere laag is ongeveer twintig maal zoo dik als de ruimteladingslaag vlak bij de kathode en komt voor den dag bij stroomdichtheden van meer dan 0,1 A/cm$^2$ en drukken tusschen $10^{-2}$ mm en 3 mm. Bij lagere drukken verdwijnt het nieuwe donkere laagje en er verschijnt een heldere laag van dezelfde afmetingen. Komende vanaf de kathode is er aan de grens tusschen het laagje en het sterk lichtende gedeelte der ontlading een scherpe toename van de concentratie en een vermindering van de gemiddelde energie der snelle electronen. Dit kan worden verklaard als een verstrooiing der snelle electronen, die vertrekken vanuit de rand van de ruimteladingslaag vlak bij de kathode. Deze verstrooiing wordt grooter met toenemende stroomsterkte. Een donker of een helder laagje zal worden waargenomen naarmate de invloed der toename van de concentratie der snelle electronen buiten dit laagje dan wel de afname der gemiddelde energie dezer electronen op de lichtemissie overheerscht.

**No. 1173:** K. F. Niessen: Über die Wirkung eines vertikalen Dipolsenders auf ebener Erde in einem Entfernungsbereich von der Ordnung einer Wellenlänge (Ann. Physik **28,** 209 - 224, Jan. 1937).

Voor de sterkte van de horizontale component van het magnetische en van de verticale component van het electrische veld van een verticale dipoolzender worden formules afgeleid, die nauwkeurig genoeg zijn om tot op afstanden van de orde van grootte eener golflengte te kunnen worden toegepast. De formules worden daarna vereenvoudigd voor het geval men te maken heeft met zulke bodemsoorten en golflengten, dat de numerieke afstand van Sommerfeld klein wordt ten opzichte van de eenheid.

**No. 1174:** H. C. Hamaker: A general theory of lyophobic colloids. II. (Rec. Trav. chim. Pays Bas **56,** 3 - 25, Jan. 1937).

De beschouwingen van **No. 1154** voortzettend wordt een formule afgeleid, die de totale wisselwerkingsenergie tusschen twee colloïdale deeltjes ruw weergeeft als een functie van hun onderlinge afstand en waarin als onafhankelijke parameters nog voorkomen de lading $E$ van een colloïdaal deeltje en de concentratie $c$ van het electrolyt. In een $E$-$c$-diagram kunnen de verschillende toestanden van een colloïde in hun afhankelijkheid van $E$ en $c$ worden aangegeven. Op een duidelijke en eenvoudige wijze kan het verloop van verschillende verschijnselen, zooals peptisatie, omkeerbare en onomkeerbare uitvlokking en thixotropie, worden gediscussieerd aan de hand van krommen in het $E$-$c$-diagram.

**No. 1175:** J. A. M. van Liempt und P. Leydens: Die Farbenwiedergabe beim Photographieren mit Neonlicht (Rec. Trav. chim. Pays Bas **56,** 26 - 28, Jan. 1937).

Het weergeven van kleuren bij het fotografeeren met neonlicht werd voor verschillende negatief-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023
Digitized by www.freeservicemanuals.info



materialen onderzocht, waarbij bleek, dat neon een goede lichtbron is voor orthochromatische materialen. Wegens de kortere belichtingstijden past men echter meestal liever panchromatisch materiaal toe, waarmee men goede resultaten bereikt bij het gebruiken van een mengsel van neon- en kwiklicht. Dit mengsel staat echter achter bij het mengsel van natrium- en kwiklicht (vgl. Philips techn. T. **2**, 24, 1937).

**No. 1176:** J. A. M. van Liempt und J. A. de Vriend: Studien über das Verbrennungslicht einiger Metalle (Rec. Trav. chim. Pays Bas **56**, 126 - 128, Jan. 1937).

De bij verbranding ontwikkelde lichthoeveelheid en het rendement dezer verbranding werden bepaald voor wolfraam, molybdenium, tantalium, cerium en koolstof.

**No. 1177:** M. J. O. Strutt: Les performances de certains types de lampes changeuses de fréquence dans les récepteurs toutes ondes (Onde él. **16**, 29 - 44, Jan. 1937).

De verschillende voorwaarden, waaraan menglampen vooral op korte golven moeten voldoen, zijn in 11 punten samengevat. De belangrijkste eigenschappen van octoden werkende op korte golven worden besproken en middelen worden aangegeven om eventueele bezwaren te ondervangen. De eigenschappen der octoden worden in het algemeen behandeld en de nieuwste verbeteringen in hun constructie kort aangegeven. Hierbij worden getallen opgegeven, die betrekking hebben op het gedrag der nieuwste typen lampen op korte golven, waaruit duidelijk blijkt, dat zij zich gunstig onderscheiden van de tot nu gebruikelijke typen.

**No. 1178:** J. H. Gisolf: The counting of electrons by means of a discharge tube (Physica **4**, 69 - 70, Febr. 1937).

Verschillende soorten ontladingsbuizen kan men in een speciale schakeling, die in dit artikel beschreven wordt, gebruiken voor het tellen van electronen.

**No. 1179:** F. M. Penning: Ein neues Manometer für niedrige Gasdrücke, insbesondere zwischen $10^{-3}$ und $10^{-5}$ mm (Physica **4**, 71 - 75, Febr. 1937).

Een glimontlading in een magnetisch veld kan geschikt worden gemaakt voor het meten van lage gasdrukken, speciaal tusschen $10^{-5}$ en $10^{-3}$ mm. De stroom, die overgaat tusschen twee electroden is een goede maat voor de druk. De lengte van het negatieve glimlicht op een staafvormige kathode van een andere glimontladingsbuis is een zeer bruikbare aanwijzing voor deze stroomsterkte. Deze nieuwe manometer, die door de firma E. Leybolds' Nachfolger A.G., Keulen-Bayental, in de handel wordt gebracht onder de naam Philips-Vacuummeter (zie blz. 207 van deze aflevering), is heel eenvoudig in het gebruik. De aanwijzing is gemakkelijk te zien, geschiedt ononderbroken en momentaan en geldt ook voor condenseerbare dampen.

**No. 1180:** J. Sack: The charge of electricity on metal drops, which leave the welding rod during electric arc welding (Physica **4**, 104 - 106, Febr. 1937).

De vloeibare metaaldruppels, die bij het laschproces overgaan van de laschstaaf naar het werkstuk, worden opgevangen vóór zij het werkstuk hebben bereikt, teneinde hun lading te bepalen met een electrometer van Wulf en tevens hun gewicht. De druppels van de bekleede laschstaaf PH-50 blijken steeds negatief te zijn geladen, zoowel bij wisselstroomlasschen als bij gelijkstroomlasschen, met de laschstaaf als positieve of als negatieve pool. Deze negatieve lading van 2 à 3 maal $10^{-9}$ coulomb is voor dergelijke kleine metaaldruppletjes van 3 à 4 mm diameter zeer groot en in staat hen te brengen op een spanning van 10 kV ten opzichte van aarde. Een afdoende verklaring van deze verschijnselen is nog niet gegeven.

**No. 1181:** A. Bouwers, F. A. Heyn and A. Kuntke: A neutron generator (Physica **4**, 153 - 159, Febr. 1937).

In dit artikel wordt een buis beschreven, waarmee snelle ionen en neutronen gemaakt kunnen worden. Verder wordt een hierbij te gebruiken hoogspanningsgenerator behandeld en een nieuwe methode om de spanning toe te voeren aan de ionenbron.

**No. 1182:** F. A. Heyn: The radioactivity of cobalt, nickel, copper and zinc induced by neutrons (Physica **4**, 160 - 165, Febr. 1937).

De door neutronen van verschillende snelheden in cobalt, nikkel, koper en zink opgewekte radioactiviteit werd onderzocht. Beschiet men koper en zink met snelle neutronen, dan vindt men halveeringstijden, die aanleiding geven te veronderstellen, dat men te maken heeft met een nieuwe kernreactie, waarbij twee neutronen door de gebombardeerde kernen worden uitgezonden. Experimenten worden beschreven, die deze veronderstelling bevestigen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!